Frank Ashall



OLAĞANÜSTÜ BULUŞLAR

TÜBİTAK
POPÜLER BİLİM KİTAPLARI

2. Basım

Olağanüstü Buluşlar / Remarkable Discoveries
Frank Ashall

Çeviri: Gülgün Selamoğlu

© Cambridge University Press, 1994
© Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 1998

Bu yapıtın bütün hakları saklıdır. Yazılar ve görsel malzemeler,
izin alınmadan tümüyle veya kısmen yayımlanamaz.
Türkçe yayın hakları Nurcihan Kesim Telif Hakları Ajansı aracılığı ile alınmıştır.

TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları'nın seçimi ve değerlendirilmesi TÜBİTAK Yayın Komisyonu tarafından yapılmaktadır.

ISBN 975 - 403 - 359 - 5

1. Basım Şubat 2006 (5000 adet)
2. Basım Şubat 2006 (5000 adet)

Yayıma Hazırlayan: Sevil Kıvan
Grafik Tasarım: Cemal Töngür
Sayfa Düzeni ve Dizgi: İnci Yaldız

TÜBİTAK
Popüler Bilim Kitapları İşletme Müdürlüğü
Atatürk Bulvarı No: 221 Kavaklıdere 06100 Ankara
Tel: (312) 467 72 11 Faks: (312) 427 09 84
e-posta: kitap@tubitak.gov.tr
İnternet: kitap.tubitak.gov.tr

Sistem Ofset - Ankara

Olağanüstü Buluşlar

Frank Ashall

Çeviri
Gülgün Selamoğlu

TÜBİTAK POPÜLER BİLİM KİTAPLARI

Kızım Etty'ye
ve onun kuşağından tüm çocuklara

İçindekiler

Önsöz 1

I. Bölüm 1
Elektriğin Babası

II. Bölüm 17
İnsanoğlu İçin Dev Bir Sıçrama

III. Bölüm 27
Tıbbın Büyülü Işınları

IV. Bölüm 35
Karanlıkta Parlayan Şeyler

V. Bölüm 49
Işık Paketleri

VI. Bölüm 63
Dr. Einstein'ın Dolmakalemi

VII. Bölüm 81
Büyük Patlama ya da Her Şeyin Başladığı An

VIII. Bölüm 97
Moleküler Futbol Topları

IX. Bölüm 109
İtişip Kakışan Levhalar, Yanardağlar ve Depremler

X. Bölüm 127
Soda, Flojiston ve Lavoisier'nin Oksijeni

XI. Bölüm 137
Bira, Sirke, Süt, İpek ve Mikroplar Üzerine

XII. Bölüm 161
Sütçü Kızlar, Tavuklar ve Kuduz Köpekler Üzerine

XIII. Bölüm 181
Sıtmanın Kurnaz Tohumları

XIV. Bölüm 193
Soyut Kovalamacadan Somut Penisiline

XV. Bölüm 211
Yaşamın Alfabesi DNA

XVI. Bölüm 231
Moleküler Makasla DNA Kesmek

XVII. Bölüm 245
Moleküler Dedektif DNA

XVIII. Bölüm 259
Sihirli Mermiler

Dizin 279

Önsöz

Bilim adamlarının temel bilimsel araştırmaların insanlığa sağladığı ve sağlayabileceği yararlar konusunda toplumu bilgilendirmek ve doğanın olağanüstü işleyiş biçimi hakkında herkesi eğitmek gibi bir sorumluluğu vardır. Benim görüşüme göre, hiç kimsenin kuramsal araştırmanın ne gibi yararlar sağlayabileceğini bilemeyeceği, topluma anlatılması gereken son derece önemli bir nokta. Doğayı anlamaya yönelik temel çalışmalar defalarca öngörülemeyen ve son derece önemli uygulamalara yol açmıştır. Umarım bu kitap bu konuya dikkat çekmeyi biraz olsun başarır.

Geçtiğimiz yıllarda bilimsel araştırma büyük üniversitelerimizin akademik laboratuvarlarında bile çok ticarileşti; zaten birçoğunun bilginin kendisi için bilgi arama özgürlüğü konusundaki idealleri sönükleşmişti. Kuramsal bilimsel araştırmaya dünyanın her yerinde hükümetlerin mali desteği acınacak derecede ve askeri araştırmalara verilen müthiş mali desteğin yanında yok denecek kadar az. Temel araştırmalar için fon ayrıldığı durumlarda bile, insanlık açısından muazzam önem taşıyan bazı alanlar hâlâ hak ettikleri mali desteği alamıyorlar; tabii bir de mazur görülemez biçimde az fon ayrıldığı için durdurulan araştırma programları var. Kim Michael Faraday'ın günümüzün elektrik endüstrisinin neredeyse tümünün doğuşuna yol açmış merakına fiyat biçebilir? Doymak bilmez doğayı anlama arzusu günümüzde bulaşıcı hastalıkların anlaşılmasına, önlenmesine ve tedavi edilmesine büyük katkıda bulunmuş Louis Pasteur'ün düşüncelerinin mali değeri neydi?

Bilimsel araştırmaya kaynak ayıran organizasyonlar bu kitapta anlatılan türden keşifleri daima göz önünde bulundurma-

lı ve konu ne olursa olsun kuramsal araştırmayı desteklemenin akıllıca olduğunu unutmamalılar. Geçmişte yapılmış bilimsel keşiflerden alınacak en önemli ders, doğanın araştırılmasının yalnızca içinde yaşadığımız olağanüstü ve güzel evrenle ilgili bilgimizin artmasını sağlamayacağı, aynı zamanda kaçınılmaz olarak günlük hayatımızı her bakımdan geliştirecek yeni ve hiç beklenmedik faydalar sağlayacağıdır. Bilimin yararlı uygulamaları herkes için, her yerde. Doğanın karmaşıklığı ve yasalarının güzelliği üzerinde hepimiz hayranlıkla karışık bir saygıyla kafa yormalıyız. Ama dünyamızdaki hükümetlerin üyeleri maalesef çoğunlukla yeterli bilimsel eğitimden yoksun, dolayısıyla da bilimsel araştırmanın ne kadar önemli olduğunu anlayamıyorlar ve ne feci ki yoksul ülkelerde yaşayan yüz milyonlarca masum insan bu kitapta anlatılan buluşların faydalarından hâlâ yararlanamıyor.

1991 yılının iki ayını İngiliz gazetesi *The Independent*'ta Basın Görevlisi (basında çalışan araştırmacı bilim adamı) olarak geçirdim. O dönemde bilimin benim araştırma konumun kapsamı dışında kalan alanlarına ilgim canlandı. Birçok araştırmacı bilim adamının bilimin kendi uzmanlık konuları dışında kalan alanları hakkında ne kadar az şey bildiğini, topluma bilimin anlatılmasının ne kadar önemli olduğunu orada anladım. Beni bu kitabı yazmam için harekete geçiren itkiyi sağlayan ve bana gazetede çalışma fırsatı veren *The Independent*'ın Bilim Editörü Dr. Tom Wilkie'ye minnettarım. *The Independent*'ın başka çalışanları da, özellikle Susan Watts ve Steven Connor o dönemde bana çok yardımcı oldular. Medya Bursu'nun sponsoru British Association for the Advancement of Science'la birlikte The Committee on the Public Understanding of Science'tı (COPUS); onlara da teşekkür borçluyum.

Çok değerli ve yapıcı yorumları için Cambridge University Press'ten Dr. Robert Harington'a ve Dr. Jo Clegg'e teşekkür ederim. Karım Dr. Alison Goate de müsvedde üzerinde çok faydalandığım yorumlar yaptı. Aşağıda adları anılan kişiler çok

faydalı bilgiler verdiler ve can alıcı yorumlar yaptılar, onlara teşekkür ederim: Profesör Alec Jeffreys, Leicester Üniversitesi; Profesör Harold Kroto, Sussex Üniversitesi; Profesör Cesar Milstein, Cambridge Üniversitesi; Profesör Sir Edward Abraham, Sir William Dunn Patoloji Okulu, Oxford Üniversitesi; Profesör Sir Henry Harris, Sir William Dunn Patoloji Okulu, Oxford Üniversitesi; Profesör Clifford Will, Washington Üniversitesi, St. Louis, Missouri ve Profesör Wai-Mo Suen, Washington Üniversitesi, St. Louis, Missouri.

Frank Ashall
Hampton Wick, İngiltere

I. Bölüm

Elektriğin Babası



1991 yılında Londra'daki Bilim Müzesi, Michael Faraday'ın doğumunun iki yüzüncü yıldönümünü kutlamak amacıyla özel bir sergi düzenledi. Serginin girişine Faraday'ın bir heykeli konmuş, çevresine ise elektrik süpürgesi, elektrikli dikiş makinesi, saç kurutucusu, mikser gibi, bir düzineden çok gündelik ev eşyası yerleştirilmişti. Heykelin altındaki levhada şöyle yazıyordu: "Bugün kullandığımız bütün elektrikli aletler 1791-1867 yılları arasında yaşamış olan Michael Faraday'ın temel buluşlarına dayanmaktadır." Bu hiç de abartılı bir ifade değildi: Faraday'ın elektrik ve manyetizma alanlarındaki deneyleri, bugünün elektriğe bağımlı endüstrisinin tamamının temelini oluşturur, ayrıca günümüz toplumu sahip olduğu pek çok lüks ve hayat kurtarıcı araç gereç için ona ne kadar minnet duysa azdır. Doğru dürüst bir üniversite eğitimi bile al-

mamış bu Britanyalı bilim adamı elektriğin babası olarak anılmayı sonuna kadar hak etmiştir.

Bununla beraber, kendi çalışmalarından kaynaklanarak zaman içerisinde gelişip çeşitlenen akıl almaz uygulamalar, araştırmalarına ilk başladığında Faraday'ın aklının ucundan bile geçmemişti. Kaldı ki çalışmalarının uygulamaları onu hiçbir zaman doğrudan ilgilendirmedi. Onun derdi doğayı doğa aşkı için araştırmaktı: Deneyler aracılığıyla fiziksel dünyanın gizli güzelliklerini keşfedip ortaya çıkarmak... Eğer Louis Pasteur'ün "uygulamalı bilim diye bir şey yoktur, yalnızca bilimin en saf halinin uygulanması söz konusudur" sözünün esasına, yaptığı işlerle örnek sayılabilecek bir bilim adamı varsa, o da Faraday'dır. Derin tutkusu ve saf bilgiye doymayan arzusuyla, fiziğin gezegenimizde devrimlere neden olan yanlarını ortaya çıkarmıştır.

Tarihsel Sahne

Michael Faraday'ın buluşlarının önemini ve nasıl olup da ortaya çıktıklarını anlamak istiyorsak, deneylerine başladığı dönemde, yani 19. yüzyıl başlarında elektrik ve manyetizma konularında varılmış olan noktayı bilmemiz gerekiyor. Dönem, elektrik ve manyetizma konularında büyük buluşlar yapmak için çok uygundu. 17. ve 18. yüzyıllarda optikte ve mekanikte çoktan büyük gelişmeler kaydedilmişti bile. Faraday bilim sahnesinde belirdiğinde ise elektrik ve manyetizma, üzerlerinde çalışma yapmanın moda olduğu alanlar olma yolunda hızla ilerliyorlardı.

Hiç kuşkusuz Eski Yunanlılar, özellikle de MÖ 6. Yüzyılda yaşamış olan filozof Milas'lı Thales'in çalışmaları sayesinde, manyetizma hakkında bilgi sahibiydiler. Thales (mıknatıs taşı veya manyetit de denilen) bir demir cevheri parçasının, başka bir demir parçasını kendine çekebildiğini ispat etmişti. Deneylerinde kullandığı mıknatıstaşı Ege'deki Magnesia'dan* gelmiş

* Şimdiki adıyla Manisa (ç.n.)

olduğu için Thales bu taşa "Magnesia taşı" ismini verdi; "*magnet*" (mıknatıs) sözcüğü de buradan gelmektedir.

Yunanlılar elektrostatik çekimden de haberdardı. Bir kehribar parçası (taşlaşmış reçine) ovulduğunda hafif cisimleri, örneğin kuş tüyünü kendine çekebiliyordu. "Elektrik" sözcüğü de Yunancada kehribar anlamına gelen "elektron" sözcüğünden gelir. Yunanlılar aynı zamanda, manyetik çekim ve elektrostatik çekim arasındaki benzerliklerden de haberdarlardı; fakat manyetik çekimin daha kuvvetli, elektrostatik çekiminse daha değişken olduğunu düşünüyorlardı. Çünkü kehribar ovulduğunda, neden yapılmış olurlarsa olsunlar birçok hafif cismi yerden havalandırabiliyordu; halbuki mıknatıs taşı kendine doğru yalnızca demiri veya başka mıknatıs taşı parçalarını çekebiliyordu.

Manyetizmanın anlaşılma süreci biraz yavaştı, ancak 12. yüzyıla gelindiğinde **manyetik indüksiyon**, yani manyetik bir demir parçasının manyetik olmayan bir başka demiri mıknatısa dönüştürme süreci bilinmekteydi. Çoğumuz, hayatta hiç değilse bir kere, bir demir veya çelik parçasının, örneğin bir ataşın veya toplu iğnenin mıknatısa sürtüldüğünde mıknatıslandığına tanık olmuşuzdur.

Suyun üstünde yüzen bir mıknatıs kuzey-güney doğrultusunu gösterir; başka yöne çevrildiğinde bile kuzey-güney yönlenmesine geri döner. Mıknatısların birer kuzey ve güney kutuplarının olduğu bu şekilde anlaşılmıştır. İki mıknatıs, zıt kutupları karşı karşıya gelecek şekilde (yani kuzeye karşılık güney) birbirlerine yaklaştırılırsa birbirlerini çekiyor, benzer kutupları karşı karşıya getirildiğinde ise (yani kuzeye karşılık kuzey veya güneye karşılık güney) birbirlerini itiyorlardı. Bu gözlem "benzer kutuplar iter, zıt kutuplar çeker" ilkesini ortaya çıkardı ve mıknatıslı bir ibrenin Dünya'nın manyetik kutuplarıyla aynı doğrultuyu gösterdiği manyetik pusulanın temelini oluşturdu. Artık denizciler Güneş'e ya da Kutupyıldızı'na bakmadan da yönlerini bulabiliyorlardı. Pusula ilk defa Çinliler tarafından kullanılmış olabilir. 15. yüzyıla gelindiğinde büyük ölçüde man-

yetik pusulanın sayesinde, insanoğlunun yeryüzünü keşfinde büyük aşamalar kaydedilmişti.

İngiltere Kraliçesi 1. Elizabeth'in doktoru William Gilbert (1544-1603) manyetizmanın bilimsel temelini derinliğine, detaylı ve sistemli şekilde araştıran ilk bilim adamlarından biriydi. Pusulanın ibresinin yalnızca kuzey-güney doğrultusunu işaret etmekle kalmadığını, aynı zamanda aşağıya doğru biraz eğildiğini de net bir şekilde kanıtlamıştı. Bir mıknatıs taşı parçasını, Dünya'yı temsil etmek üzere küre biçiminde yonttu ve pusulanın ibresinin yalnızca tek bir yönü gösterdiğini ve küreye yaklaştırıldığında eğildiğini keşfetti. Gilbert bu sonucu şöyle yorumladı: Dünya'nın kendisi de kocaman bir manyetik küreydi ve bir kuzey, bir de güney kutbu vardı. Başka bir deyişle, küresel bir mıknatısın polaritesi var demekti. Böylece, Dünya'nın en kuzeyinde bir yerlerde demir cevherinden oluşma devasa bir dağ silsilesi olduğuna dair eski inanışlar tarihe karıştı.

Gilbert, elektrostatiğin temel ilkeleriyle ilgili deneyler de yaptı. Değerli pek çok taşın, örneğin safirin ve elmasın da, ovulduklarında tıpkı kehribar gibi elektrostatik çekim yaratabildiğini gösterdi. Bu maddeleri tanımlamak için "elektrikliler" sözcüğünü ortaya attı.

"Elektrikli" maddelerin ovulmasıyla elde edilen statik elektrik ne yazık ki pek büyük miktarda olamıyordu. Ayrıca bu yöntemle yüklenmiş maddelerdeki elektriği kontrollü olarak kullanmak pek de kolay değildi: Elektrostatik boşalma fazla hızlı oluyordu. Elektrik üzerine kapsamlı bir çalışma gerçekleştirebilmenin ön koşulu, büyük miktarda elektriğin üretilebileceği bir sistem geliştirmekti. Ayrıca bu elektriğin, kontrol edilebilir zaman dilimlerinde kullanılabilmesi gerekiyordu; ancak böylece bilim adamları elektriğin özelliklerini araştırabilirdi. Bu problemi çözmede ilk önemli adım Otto von Guericke (1602-1686) adlı Alman fizikçiden geldi. Von Guericke, özellikle statik elektrik üretmek için çok uygun bir malzeme olan sülfürden karpuz büyüklüğünde bir top yaptı. Bu sülfür top bir kol yardımıyla döndürülürken

bir yandan da başka bir malzemeye sürtünürse, kürenin içinde büyük miktarda statik elektrik depolanabiliyordu. Von Guericke bir şey daha keşfetti: Elektrostatik yöntemle yüklenmiş küreler, tıpkı manyetik kutuplar gibi birbirlerini çekebiliyor veya itebiliyorlardı. Bir sülfür küre, başka bir kürenin elektrostatik olarak yüklenmesine neden olabiliyordu. Buna da **elektrostatik indüksiyon** dendi. 17. yüzyılın sonlarına gelindiğinde gitgide artan sayıda bilim adamı elektrik ve manyetizmanın bir şekilde yakından ilintili olduğunu düşünmeye başlamıştı.

18. yüzyıl boyunca ve 19. yüzyılın başlarında bilim adamları elektriğin çeşitli malzemelerin, örneğin metal çubukların içinden akım halinde geçebildiğini gösterdiler. Amerikalı bilim adamı Benjamin Franklin (1706-1790) elektriğin artı yüklü bölgelerden, görece eksi yüklü bölgelere doğru akan bir sıvı olduğunu öne sürdü. Şimdi ise biliyoruz ki eksi yüklü elektronlar bir elektrik devresinin eksi kutbundan artı kutbuna doğru, yani Franklin'in öne sürdüğünün aksi yönde akar.

17. yüzyılda ve 18. yüzyılın başlarında Faraday'ın sonraki buluşları için özellikle önem taşıyan üç büyük gelişme oldu: İlk elektrik pili icat edildi; elektrik akımlarını ölçmeye yarayan bir alet (galvanometre) geliştirildi ve elektrik ile manyetizma arasındaki doğrudan ilişki (elektromanyetizma) keşfedildi.

Elektrik pili 1800 yılında İtalyan bilim adamı Alessandro Volta (1745-1827) tarafından, yine bir İtalyan olan Luigi Galvani'nin (1737-1798) daha önceki bir keşfine dayanarak icat edildi. Galvani fırtınalı ve şimşekli havalarda bir kurbağanın bacaklarına metal neşterle dokunulduğunda, hayvanın bacak kaslarının seğirdiğini görmüştü. Sakin havalarda bile kaslara aynı anda iki farklı metal parçası (örneğin bakır ve demir) dokundurulduğunda, art arda seğirmeler meydana geldiğini de gözlemledi. Bu seğirmeler Galvani'ye göre "hayvansal elektrik" denilen hayati bir güçten kaynaklanıyordu. Volta, Galvani'nin seğirmelerle ilgili yorumuna karşı çıkarak elektriğin kaynağının esrarengiz güçlerle ilgisi olmadığını, iki farklı metalin teması sonucu meydana geldiğini öne sürdü.

Volta, basit bir tuz çözeltisi aracılığıyla bile olsa temas halindeki iki farklı metalin sürekli bir elektrik akımı oluşturabileceğini ispat etti. Biri gümüş diğeri çinko iki diskin arasına, önceden tuzlu su emdirilmiş kartondan üçüncü bir disk koyduğunda, bu basit aletin elektrik akımı yaratabildiğini gördü. Benzer yöntemle birbiri üstüne yığılmış disk kümeleri ise daha da fazla akım üretebiliyordu. Bu "Volta kümeleri" ilk elektrik pilleriydi. Bilim adamları artık statik elektriği sülfür küreler içinde biriktirmek zorunda kalmadan, devamlı bir akış halinde ve görece büyük miktarda elektrik üretebiliyorlardı.

1819'da, Faraday ilk elektrik motorunu yapmadan kısa zaman önce, Danimarkalı bilim adamı Hans Christian Oersted (1777-1851) şunu keşfetti: Bir ucu pile bağlı bir tel parçası pusula ibresi üzerine yatay olarak asıldığında, tele her akım verilişinde ibre hareket ediyordu. **Elektromanyetik indüksiyon** adı verilen bu önemli olay elektrik ve manyetizmanın birbirleriyle ilintili olduğunu açıkça ispat etti. Bundan hemen sonra Alman fizikçi Johann Schweigger (1799-1857) bir telden geçen akımı ölçebilen ilk galvanometreyi icat etti.

İşte Michael Faraday elektromanyetizma üzerine çalışmalarına böyle bir bilimsel bağlamda başlamıştı. Fakat Faraday'ın buluşlarını nasıl gerçekleştirdiğini anlayabilmek için yalnızca o dönemdeki bilimsel bilgi düzeyini değil, Faraday'ın nasıl fizikçi olduğunu ve araştırmaları için onu harekete geçiren itkinin ne olduğunu da bilmemiz gerekiyor.

Michael Faraday'ın Geçmişi

Michael Faraday 22 Eylül 1791'de Newington, Surrey'de (şimdi Londra'ya dahil olan Elephant and Castle bölgesi) yoksul bir demircinin oğlu olarak dünyaya geldi. Faraday ailesi Sandemancılar diye bilinen bir dini mezhebin üyesiydi. Sandemancılar esas olarak basit bir yaşamla yetinmeye inanmış, konformizme karşı Hıristiyanlardı. Parasal zenginliğin dine aykırı olduğunu ve Tanrı'nın yasalarının doğada "yazılı"

olduğunu düşünüyorlardı. İnsanlığın doğal olayları inceleyerek, yani "okuyarak" Tanrı'nın gerçek özelliklerini keşfedebileceğine inanıyorlardı. Michael Faraday yaşamı boyunca sofu bir Sandemancı olarak kaldı. Dinsel inancının bilimsel çalışmaları üzerindeki güçlü etkisiyle, deneysel yaklaşımını kararlılıkla korudu. Britanyalı fizikçi John Tyndall'ın (1820-1893) dediği gibi, gerçekten de "Onun felsefesi ve din duygusu birbirinden ayrı tutulamaz; bu ikisi her zaman birbiriyle iç içe olmuştur."

Faraday on üç yaşında okuldan ayrıldı ve Londra'da bir işe girdi. Kitapçı ve ciltçi George Ribeau için gazete dağıtıcılığı yapıyordu. Çocuğun çalışma şevkinden çok etkilenen Ribeau, 1805'te ona yedi yıl sürecek bir çıraklık önerisinde bulundu. Faraday öneriyi kabul etti; ne de olsa bu, yeni bir zanaat öğrenmek için iyi bir fırsattı. Daha da önemlisi, bu iş sayesinde elinden değişik konularda pek çok kitap gelip geçti; bazılarını büyük bir ilgiyle baştan sona okudu. Genç Faraday için, bilgiye giden bir kapı açılmıştı. Özellikle de kimya üzerine yazılar onu çok heyecanlandırıyordu. Genç yaşına ve aldığı pek az okul eğitimine rağmen, Faraday'ın kimya ve fiziğe ilgisi gelişiyordu. Sonradan kendisi de "Çırakken elime geçirdiğim bilimsel kitapları okumaya bayılıyordum." diyecekti.

Çıraklığı sırasında Faraday, Ribeau'nun da izniyle ciltçi dükkânının boş bir odasında basit bilimsel deneyler yapıyordu. Ciltçilik zanaatıyla yan yana yürüttüğü basit deneyler Faraday'a azımsanmayacak bir el becerisi kazandırdı. Geliştirdiği bu ustalık ileride elektrik ve manyetizma üzerine yapacağı bilimsel araştırmalara da damgasını vuracaktı. 1810'dan başlayarak Londra Kenti Felsefe Topluluğu'nda yapılan konferanslara ve tartışmalara katılmaya başladı. Bir yandan sürdürdüğü yoğun okumayla beraber, bu toplantılar Faraday'a temel kimya ve fizik konusunda sağlam bir temel kazandırdı.

1812 yılında zamanın en ünlü bilim adamlarından biri olan Britanyalı kimyacı, "Sir" unvanlı Humphry Davy (1778-1829)

Londra'daki Kraliyet Enstitüsü'nde bir dizi konferans verdi. Faraday katıldığı bu konferanslardan o kadar etkilendi ki, konuşmaları yazıya döktü, ciltledi ve Davy'ye gönderdi. Kitabın yanına bir de mektup ekleyip, büyük kimyacının laboratuvarındaki asistan kadrosunda açık bir yer olup olmadığını sordu. Davy Faraday'ın coşkusundan etkilenmişti. Faraday'la bir görüşme yaptı ama iş teklifinde bulunmadı; tersine ciltçiliğe devam etmesini önerdi. Ne var ki Davy kısa bir süre sonra, bir laboratuvar kazası yüzünden geçici bir süre kör oldu ve Faraday'ı yanında not tutması için işe aldı. 1813'te bir tartışma yüzünden laboratuvar asistanlarından birini kovup Faraday'a onun yerine asistanlık teklif etmesi ise 21 yaşındaki Faraday'ın hayatının en büyük fırsatı oldu.

Böylece özdenetimi, sorumluluk duygusu ve bilgi tutkusuyla Michael Faraday, en büyük bilim adamlarından birinin laboratuvarına adım atmıştı. Yetkin ve en azından Davy kadar büyük bir bilim adamı olmak üzere yoluna devam etti. Gerçekten de, Davy'nin en büyük keşfinin Faraday olduğu söylenir. Aslında bunun tersinin de doğru olduğu söylenebilir, çünkü aslında ikisi de birbirlerini karşılıklı olarak keşfetmiştir.

Hiç üniversiteye gitmemiş olduğundan, Faraday'ın eğitiminde hâlâ çok büyük eksiklikler vardı. Davy'nin yanında çalışmaya başladığı yıl birlikte Avrupa turuna çıktılar. Faraday bu yolculukta Ampère ve Volta da dahil dünyanın en iyi kimyacılarından bazılarıyla tanıştı. On sekiz ay süren bu tur sırasında Davy hergün Faraday'a ders verdi; bu da muhtemelen Faraday'ın üniversite eğitimi açığını fazlasıyla kapadı. Büyük bir kimyacıyla yolculuk yapmak, diğer pek çoğuyla tanışıp konuşmak, çiçeği burnunda bir bilim adamı için bilimsel düşünceye açılmanın en güzel yolu olmuş olmalı.

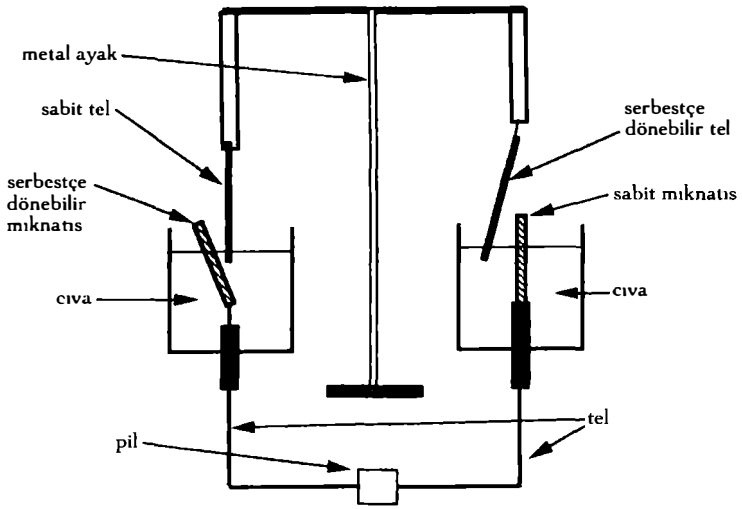
1815'te Avrupa turundan döndükten sonra, Faraday bir yandan Davy'nin asistanlığını yaparken bir yandan da kendi başına deneyler yaptı. 1820'ye gelindiğinde Michael Faraday artık yetkin bir deneyci ve doğaya tamamen kendine özgü bir

bakışı olan bir bilim adamı olmuştu. Bulunduğu noktaya gelirken izlediği yol, tamamen alışılmışın dışında bir yol olmuştu. Bunu tarihte yapılmış en büyük bilimsel buluşlar izleyecek, Faraday'ın ismi insanlığın gelişim tarihine hiç silinmemecesine kazınacaktı.

Faraday'ın Buluşları

Oersted'in, elektrik akımı taşıyan bir telin manyetik bir ibreyi hareket ettirdiğini keşfetmesi ileriye yönelik çok önemli bir adım oldu; çünkü bu, elektrik ile manyetizma arasındaki doğrudan bağın ilk göstergesiydi. Başka bilim adamları da bu olguyu incelemeye başladılar. Örneğin, Fransız bilim adamı André-Marie Ampère (1775-1836) elektrik akımı taşıyan iki telin, iki mıknatıs gibi davrandığını ispatladı: İki tel birbirini manyetik olarak çekebiliyor ve itebiliyordu. Sir Humpry Davy de asistanı Faraday'la birlikte elektromanyetizma üzerine deneyler yapıyordu; böylelikle Faraday'ın da konuya duyduğu merak iyice arttı.

1821'de Faraday **elektromanyetik dönme** adı verilen olguyu keşfetti. Elektrik akımının bir teli mıknatıs etrafında döndürebildiği, diğer yandan da bir mıknatısın başka bir tel etrafında döndüğü bir aygıt icat etmişti. Şekil 1'de bu deneyin temel kurgusu görülüyor. Sol tarafta, bir mıknatıs cıva dolu bir kabın içerisinde serbestçe dönebilecek şekilde bir mil üzerine oturtulmuş. Cıvanın yeğlenme nedeni, hem metal --dolayısıyla iletkenhem sıvı olması ve mıknatısa hareket olanağı vermesiydi. Sabit telin bir ucu cıvaya daldırılmış, diğer ucu pilin bir kutbuna bağlanmış. Mıknatısın bağlı olduğu metal pim ise pilin diğer kutbuna tutturulmuş. Tele akım verildiğinde, cıvanın iletkenliği sayesinde tam bir elektrik devresi oluşuyor; elektromanyetik indüksiyonla sabit düşey tel bir mıknatısa dönüşüyor. Bu telin çevresindeki manyetik alan mil üzerine oturtulmuş mıknatısla etkileşime girdiğinde ise mıknatıs telin çevresinde daireler çizerek dönmeye başlıyor.



Şekil 1. Faraday'ın elektromanyetik dönmeyi ispatlayan aygıtı. Elektrik akımı verilerek, sol taraftaki mil üzerine oturtulmuş mıknatısın sabit tel çevresinde dönmesi sağlanırken, sağ taraftaki serbest tel sabit mıknatısın çevresinde dönüyor.

Tekrar Şekil 1'e bakarsak, sağ tarafta bir mıknatıs hareket edemez biçimde sabitlenmiş. Bu kez düşey olarak asılmış, serbestçe hareket edebilen bir telin ucu cıvaya daldırılıyor. Tele ve cıvaya akım verilerek, tel çevresinde bir manyetik alan yaratılıyor. Bu alan sabit mıknatısın manyetik alanıyla etkileşime giriyor ve sonuç olarak tel mıknatısın çevresinde dönmeye başlıyor. Faraday bu deneyin sonuçlarını, bir mıknatısın çevresindeki "kuvvet çizgileri" olarak yorumladı. Ona göre, tellerden geçen elektrik akımıyla yaratılan manyetik alanların kuvvet çizgileri, mıknatısların kuvvet çizgileri ile etkileşime giriyor ve gözlemlenen dönmelere neden oluyordu. Bu kuvvet çizgileri kavramı ileride James Clerk Maxwell'e elektromanyetik kuramın matematiksel analizi ile ilgili çalışmalarında büyük bir esin kaynağı olacaktı (II. Bölüm).

O zamana kadar hiç kimse elektrik akımından sürekli hareket üretmeyi başaramamıştı. Faraday, bir pilin ürettiği elektrik enerjisini mekanik enerjiye (yani telin ve mıknatısın hareketine) dönüştürmüştü. Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürme işini gören aygıtlara **elektrik motoru** adı verilir. Fa-

raday'ın elektromanyetik dönme aygıtı aslında günümüz teknolojisinin büyük ölçüde bağımlı olduğu elektrik motorunun ilk örneğiydi.

Bu basit aletin zaman içerisinde bu kadar geniş kapsamlı sonuçları olması inanılmazdır. Belki daha da şaşırtıcı olan, Faraday'ın ilk elektrik motorunu yapma nedeninin neredeyse tamamen, elektromanyetizmaya hükmeden doğanın yasalarını anlayabilme arzusundan kaynaklanıyor olmasıdır. Fiziğin peşinden gitmesi, beklenmedik ve çok büyük bir fayda sağlamıştır.

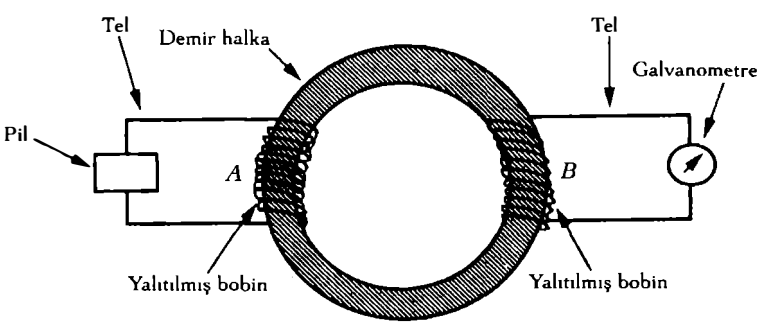
Elektromanyetik dönme aletinin çok basit bir yapısı olduğu halde, Faraday'ın deney sonuçlarını yeniden üretmeye çabalayan birçok bilim adamı başarısızlığa uğradı; birçokları ise buluşa kuşkuyla yaklaştı. Dolayısıyla Faraday, elektromanyetik dönme aletinin pile bağlanmaya hazır durumda küçük modellerini yapıp, çağdaşı bilim adamlarından bazılarına gönderdi. Bu modelleri görenlerin, Faraday'ın gerçekten de sürekli elektromanyetik dönme üretebildiğine hiç kuşkusu kalmadı.

Elektriğin manyetik alan yaratabildiği artık bilindiğine göre, Faraday manyetizmadan elektrik üretme olasılığı üzerine kafa yormaya başlamıştı. Elektromanyetik dönmeyi keşfetmesinin ardından, bir telin yakınlarına mıknatıs yerleştirerek elektrik akımı üretme girişiminde bulundu. Ama bu deneyler başarısız oldu; hatta bu deneyleri tekrar yapmaya başlaması ve bu defa olumlu sonuçlar alması için neredeyse bir on yıl daha geçecekti. 29 Ağustos 1831'de Faraday insanlığa büyük etkisi olacak başka bir aygıt geliştirdi. Demir bir halkanın iki yanına, birbirlerinden bağımsız iki tel sardı (Şekil 2). Her iki bobin de yalıtılmıştı, yani demir halka ile temas etmiyorlardı. Bobinlerden birini (Şekil 2'deki *A* bobini) bir pile, diğerini (Şekil 2'deki *B* bobini) bir galvanometreye bağladı. Faraday pil aracılığıyla *A* bobininden akım geçirdiğinde şaşırtıcı bir gözlemde bulundu: Akım verildiği anda *B* bobinine bağlı galvanometrenin ibresi bir yönde oynuyor, ama akım *A* bobininden geçmeye devam ettiği halde ibre hızla sıfır noktasına geri dönüyordu. Akım kesildi-

ğinde ise galvanometrenin ibresi yeniden, fakat bu kez ters yönde anlık bir harekette bulunuyordu. Faraday *B* bobininde bir akım meydana getirmenin anahtarının, sürekli akım vermek değil *A* bobinindeki akımı *değiştirmek* olduğunu fark etti.

Açıktı ki Faraday, bir bobinden elektrik geçirerek bir diğerinde akım üretmeyi başarmıştı. *A* bobinindeki akımın demir halka çevresinde bir manyetik alan yarattığını, bu manyetik alanın da *B* bobininde elektrik akımı oluşmasına neden olduğunu tahmin etmişti; bu tahmini doğruydu. Her ne kadar aygıtın önce elektriği manyetizmaya dönüştürmesi gerekse de, tarihte ilk kez bir insan manyetizmayı elektriğe dönüştürmeyi başarmıştı.

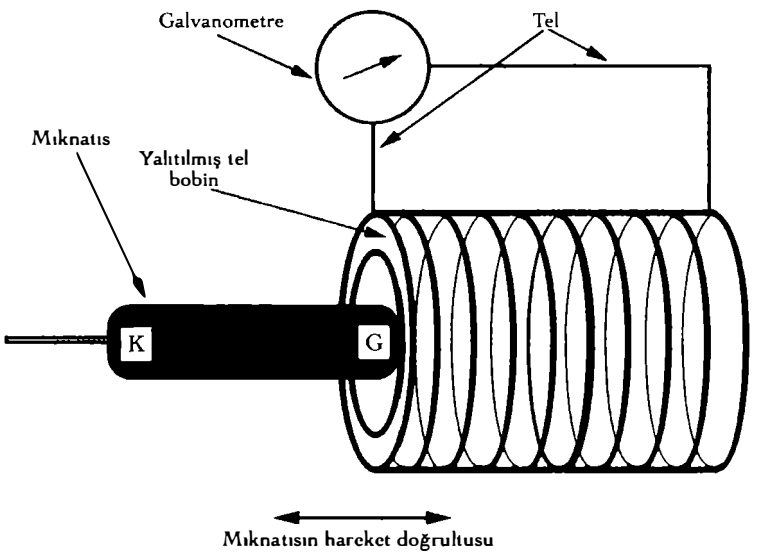
Yine çok basit bir yapısı olan bu alet, ilk elektrik transformatörüydü. Elektriğin önceden mümkün olandan çok daha fazla miktarda üretilebilmesini sağlamıştı: *B* bobinindeki sarmal sayısını artırarak, *A* bobinindeki düşük voltajın *B* bobininde daha yüksek voltaj oluşturması sağlanabiliyordu. Başka bir deyişle, düşük voltajlar yüksek voltajlara çevrilebiliyordu; benzer biçimde yüksek voltajlar da düşük voltajlara. Transformatörler günümüzde bütün dünyada, binlerce elektrikli araçta kullanılıyor. Onların sayesinde santrallarda üretilen yüksek voltajlı elektrik, yine onlar sayesinde evlerimizde tehlikesizce kullanabileceğimiz düşük voltajlara çevriliyor. Bugün bütün evlerin,



Şekil 2. Faraday'ın transformatörü. Demir halka üzerine sarılan yalıtılmış tel bobinden (*A*) akım geçiriliyor. Akım tekrar tekrar verilip kesilerek, yine yalıtılmış telden yapılma ikinci bobinde (*B*) bir akım yaratılıyor.

hastanelerin, alışveriş merkezlerinin ve işhanlarının elektrik gereksiniminin karşılanması transformatöre bağlıdır. Ne var ki, Faraday bu ilk transformatörü sadece elektrik ile manyetizma arasındaki ilişkiyi merak etmesi sonucunda ortaya çıkarmıştır.

İlk transformatör çalışmasının ardından, Faraday deneylerine devam etti ve sonunda manyetik bir alandan dolaysız olarak (yani bu kez etkileşimi başlatmak için bir elektrik kaynağına başvurmadan) elektrik akımı elde etmeyi başardı. Yaptığı çeşitli aygıtlardan biri Şekil 3'te görülüyor. Burada bir mıknatıs tel bobinin içindeki boşluğa sokulup çıkarılıyordu. Bu hareketin telde yarattığı akım, bobine bağlı galvanometre aracılığıyla tespit edilebiliyordu. Önceki deneyde olduğu gibi burada da eğer mıknatıs sabit tutulursa galvanometre ibresi sıfıra dönüyordu. Mıknatısın içeri dışarı hareketi ne kadar hızlı olursa, telde meydana gelen akım da o kadar güçlü oluyordu. Ayrıca, mıknatısın içeriye veya dışarıya doğru hareketine bağlı olarak akım da farklı yönlerde oluyordu.

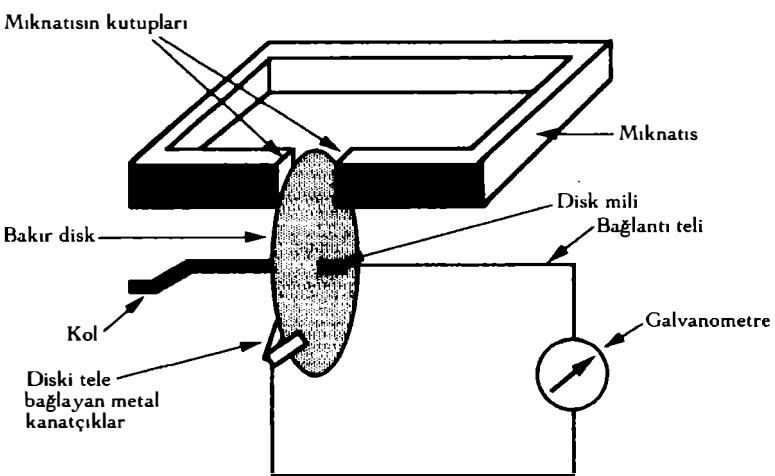


Şekil 3. Faraday'ın manyetoelektrik indüksiyonu açıklamak için kullandığı aygıt. Bir mıknatıs galvanometreye bağlı tel bobine sokulup çıkarılıyor. bu hareket de bobinde bir elektrik akımı başlatıyordu.

Faraday bu çalışmalarla ilgili şöyle yazdı: "Sanırım, yaptığım çeşitli deneyler bildiğimiz manyetizmadan elektrik üretilebileceğini kuşkuya yer bırakmayacak biçimde kanıtlıyor." Mıknatıs kullanarak elektrik üretme işini tanımlamak için de **manyetoelektrik indüksiyon** terimini ortaya attı.

Bu deneylerden kısa bir süre sonra Faraday, mıknatıstan sürekli elektrik akımı elde edebileceği bir makine icat etti. Şekil 4'te gösterilen bu aygıt, büyük bir mıknatıstan ve bu mıknatısın kutuplarının arasına yerleştirilmiş bakır bir diskten oluşmaktaydı. Bakır disk döndürüldüğünde, diskte bir akım meydana geliyordu. Aslında bu alet ilk **dinamo** idi: Yani (bakır diskin dönmesini sağlayan) mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren makine. Tersi uygulanırsa, yani diski döndürmek için elektrik akımı kullanılırsa aynı aygıt, bugünün elektrik motorunun doğrudan atası haline gelmiş olur.

Manyetoelektrik indüksiyon tarihte ilk kez pil kullanmaya gerek kalmadan elektrik üretmeyi mümkün kıldı. Faraday'ın yaşadığı yıllarda piller pahalı ve ağırdı, üstelik sık sık değiştirilmeleri gerekiyordu. Manyetoelektrik indüksiyon her şeyi değiştirdi.



Şekil 4. Faraday'ın dinamosu. Bakır bir disk kuvvetli bir mıknatısın kutupları arasında elle döndürülerek sürekli bir elektrik akımı üretiliyor.

Faraday maddeyi anlamamıza da büyük katkılarda bulundu. Yaptığı elektroliz çalışmaları, yani sıvı maddeleri içlerinden elektrik akımı geçirerek kimyasal olarak ayrıştırma süreci, onun adıyla anılan iki elektroliz yasasının doğmasına yol açtı. Atomlarla elektrik arasında bağ kuran bu buluşlar, izleyen yıllarda atomun yapısının ve kimyasal tepkimelerin anlaşılmasında çok önemli rol oynayacaktı.

Elektromanyetizma ve elektroliz çalışmalarının yanı sıra, Faraday başka önemli buluşlar da yaptı. Örneğin, sabit bir gaz olarak bilinen kloru sıvılaştırabilen ilk insan oldu. Halbuki o zamana kadar bu gazın hiçbir şekilde sıvılaştırılamayacağı sanılıyordu. Ayrıca, sonraki yıllarda özellikle boya ve ilaç endüstrisinde önemli yer tutacak benzeni keşfedip yalıttı ve kimyasal bileşimini saptadı. Karbonla klor bileşikleri elde etmeyi başaran ilk bilim adamıydı. Çelik alaşımları üzerine yaptığı araştırmalar, çağımızdaki alaşım araştırmalarının temelinin oluşmasına katkıda bulundu.

1845'te, artık ellili yaşlarının ortalarındayken diyamanyetizmayı, yani manyetik olmadığı düşünülen birçok maddenin (örneğin cam) bir elektromıknatısın kutuplarının yakınlarına asıldıklarında aslında az miktarda mıknatıslandığını keşfetti. "Faraday Etkisi", yani bir manyetik alanın polarize bir ışın demetine etkimesi de yaptığı sayısız buluştan biriydi. Faraday'ın elektromanyetizmanın fiziksel doğasına dair fikirleri, çok önemli bir kuram olan elektromanyetik ışık kuramını geliştiren fizikçi James Clerk Maxwell için esin kaynağı oldu (II. Bölüm).

Birçok elektrik ölçüm birimine Faraday'ın onuruna onun adı verilmiştir: Örneğin bir sığa (bir maddenin elektrik tutabilme yeteneği) birimi olan "farad" ve elektroliz sırasında kimyasal ayrışmayı sağlayan elektrik miktarını gösteren birim olan "faraday". Faraday'ın portresi 1991 yılında yirmi poundluk* Britanya banknotu üzerinde kullanılmaya başlandı, daha önce bu şeref William Shakespeare'e aitti. Bilimsel yetenek ve bilimi yay-

* Pound: Yirmi şilinlik Britanya lirası (ç.n.)

gınlaştırma alanlarında saygın birçok ödül Faraday'ın adını taşır. Kendisi elektrik mühendisliği mesleğinin kurucusu olarak da bilinir.

Faraday'ın bilime ve topluma çok büyük katkıları oldu. Bununla beraber, kendisi hep doğaya âşık ve gerçeği arayan, meraklı bir bilim adamı olarak kaldı. Araştırmalarını en saf düzeyde sürdürmeyi istediğinden şövalye unvanını reddetti ve kazançlı olabilecek birçok danışmanlık teklifini geri çevirdi. İstediğinin ölene dek "sıradan Bay Faraday" olarak kalmak olduğunu söyledi.

Michael Faraday hem fizik dünyası hem de toplum adına inanılmaz büyüklükte adımlar atan bir deha idi; ama okulu on üç yaşında bıraktığı için düzgün bir matematik eğitimi görmemişti. Dolayısıyla da, elektromanyetik olayları görsel anlamda değerlendirdi ve matematiksel çözümlemeler yapmaya kalkışmadı. Matematiksel yaklaşımın yokluğunda, elektromanyetik konusu da tam olarak anlaşılamadan kaldı. Büyük matematikçi James Clerk Maxwell sonunda elektromanyetizmayı matematiksel olarak yorumladığında ise yıl 1864 olmuş, Faraday'ın ilk transformatörü yapmasının üstünden otuz üç yıl geçmişti. Maxwell'in çözümlemesi radyo dalgalarının, X ışınlarının ve mikrodalgaların keşfine giden yolu açtı. Işığın doğasıyla ilgili fikirleri ise fizikte hiç beklenmedik başka bir devrim yarattı.

II. Bölüm

İnsanoğlu İçin Dev Bir Sıçrama



Bu bir insan için küçük bir adım, insanoğlu içinse dev bir sıçramadır." Ay'a adım atan ilk insan olan Neil Armstrong'un (doğ. 1930) 20 Temmuz 1969'da söylediği bu lü söz bütün dünyadan, hatta insanların oturma odalarından e duyuldu. Halbuki yüz yıl öncesinde hiç kimse bırakın bir sanın Ay'da yürüyeceğini, bu muazzam başarının gerçekleştianda sıradan insanlar tarafından rahatça izlenebileceğini hal bile edemezdi. Armstrong'un sesinin uzayda 400.000 kilotre kat ederek birilerinin evine ulaşması öyle akıl almazdır ki, nu mucize gibi bir şey olarak algıladığımız için mazur görüiliriz. Ama aslında bu gelişme, 1888'de Alman fizikçi Heinh Hertz'in (1857-1894) radyo dalgalarını keşfetmesiyle başvan radyo iletişimin bir yüzyıldan daha az zamanda gösterdigelişmenin bir ürünüydü.

Hertz'in bir dönüm noktası olan buluşunun izini geriye doğru, özellikle de İskoçyalı parlak matematikçi James Clerk Maxwell'e (1831-1879) kadar sürebiliriz. Maxwell hiçbir deney yapmadan, radyo dalgalarının varlığını öngörebilmişti. Yaklaşımı tamamen kuramsaldı; bu da bize, matematiğin insan toplumu ve teknolojik ilerleme üzerinde çok önemli etkileri olabileceğini gösterir. İlk Fransa İmparatoru Napoléon Bonaparte (1769-1821) "Matematiğin geliştirilip kusursuzlaştırılması, ulusun refahıyla yakından ilintilidir." demişti. Maxwell'in elektrik ve manyetizma üzerine matematiksel çözümlemeleri, birçok ulusun ve bütün olarak dünyanın yaşam koşullarını iyileştirdi; çünkü uzun mesafeler arası iletişimde akla hayale gelmeyecek büyüklükte gelişmelere yol açtı.

Maxwell sadece radyo dalgalarını öngörmekle kalmayıp, Faraday'ın araştırdığı elektromanyetik olgusunun da kusursuz bir matematiksel açıklamasını yaptı. Fizikte yirminci yüzyılda gerçekleşecek bazı gelişmelerin (örneğin kuantum kuramı ve Einstein'ın görelilik kuramı) yolunu açtı. X ışınlarının ve mikrodalgaların keşfinin ve insanlığın günümüzde yararlandığı başka birçok teknolojik ilerlemenin tohumlarını ekti. Mikrodalga fırınlarımızın kökeninde matematiksel denklemlerin yattığının kaçımız farkındayız?

Radyo iletişimdeki ilk gelişmelerin üç önemli aşaması vardı. İlk aşamada Maxwell'in elektromanyetizma üzerine kuramsal çalışmaları yer alıyordu. İkinci aşamayı Hertz'in radyo dalgalarını bulması oluşturdu. Üçüncü aşamadaysa, özellikle de büyük İtalyan mucit Guglielmo Marconi'nin (1874-1937) öncü çalışmaları sayesinde, radyo iletişim teknolojisi gelişti ve yaygınlaştı. James Clerk Maxwell ve matematikle başlıyoruz.

Maxwell ve Denklemleri

Maxwell 1831'de İskoçya'nın Edinburgh kentinde doğdu. Daha çok gençken matematikte ileri bir düzeye ulaşmıştı bile; geometri üzerine ilk bilimsel makalesini sunduğunda henüz on

dört yaşındaydı. Geçmişinin Faraday'ınkiyle taban tabana zıt olduğunu söyleyebiliriz: Varlıklı bir ailenin çocuğu olarak çok iyi bir matematik eğitimi aldı ve üniversiteye gitti.

Maxwell 1854'te İngiltere'deki Cambridge Üniversitesi'nden mezun olduktan sonra okulda kalarak yüksek öğrenimine devam etti ve elektromanyetizma konusunda çalışmaya başladı. Faraday'ın elektromanyetik olgusunu yorumlayış biçimi özellikle ilgisini çekiyordu. Faraday'a göre bir mıknatısın çevresindeki uzay, lastik bantlar gibi davranan manyetik "kuvvet çizgileri" ile doluydu; bu kuvvet çizgileri titreşime geçirildiğinde elektrik meydana geliyordu. Maxwell Faraday'ın buluşlarını ve elektriğin ve manyetizmanın bilinen diğer özelliklerini matematiksel olarak ifade etmeyi aklına koymuştu. Faraday'ın elektromanyetik olgusunu tüm detaylarıyla anlattığı önemli kitabı "Kimyada Deneysel Araştırmalar"dan çok etkilenmişti. Maxwell sonradan şöyle diyecekti: "Faraday'ın 'Araştırmalar' kitabını okurken aldığım zevki başkalarına da aktarmayı başarabilirsem, en önemli amaçlarımdan birini gerçekleşmiş sayacağım."

Maxwell de Faraday gibi elektrikle manyetizmanın birbirleriyle çok yakından ilintili olduğunu düşünüyor, ikisinin birlikte bir "elektromanyetik alan" oluşturduğunun düşünülmesi gerektiğini söylüyordu. 1864'te Londra'daki King's College'da fizik profesörüyken, elektromanyetizmanın matematiksel olarak çözümlenmesi çalışmalarında can alıcı noktaya ulaştı. Sadece düşünme gücünü ve mantığını kullanıp, elektriğin ve manyetizmanın ilişkisi üzerine önceden bilinenleri de bir araya getirerek dört matematik denklemi ortaya çıkardı. Bugün bunlara **Maxwell Denklemleri** diyoruz. Bu dört denklem elektromanyetik olgusunu eksiksiz biçimde tanımlamakla kalmadı, fizikte bir devrim yarattı.

Maxwell'in temel savlarından biri, dalgalı bir elektrik akımının "elektromanyetik dalgalar" yaratması ve bu dalgaların elektrik kaynağından çıkarak uzayda yayılması gerektiğiydi.

Elektromanyetik dalgaların hangi hızda yol alması gerektiğini hesapladığında, bulduğu değerin ışık dalgaları için kabul edilmiş hızla hemen hemen aynı olduğunu görerek hayrete düştü: Saniyede 300.000 kilometre. Eğer aralarında bir ilinti olmasa, bu değer iki ayrı olgu için herhalde aynı çıkamazdı. Maxwell'in kavrayışı doğruydu; matematiğin gücünü ve estetiğini kullanarak onlarca yıl önce Faraday'ın düşündüğü şeyi, yani ışığı elektrik ve manyetizmayla birleştirmeyi başarmıştı. "Işık aslında elektromanyetizmanın kanunlarına göre (.....) yayılan elektromanyetik bir bozukluktan başka bir şey değildir." diyordu Maxwell.

Çok sonraları Amerikalı matematikçi Richard P. Feynman (1918-1988) bu buluşun önemini şu sözlerle özetleyecekti: "Buluşunu yaptığında Maxwell pekâlâ şöyle de diyebilirdi: 'Elektrik ve manyetizma olsun ve ışık oldu'"*

Maxwell'in elektromanyetik dalga kuramı yalnızca ışığın elektromanyetik bir olgu olduğunu öngörmekle kalmıyor, aynı zamanda henüz keşfedilmemiş birtakım elektromanyetik dalgaların var olması gerektiğine işaret ediyordu. O yıllarda bilinen ışınım türleri görünür ışık, morötesi ışık ve kızılötesi ışınlardan ibaretti. Maxwell'in denklemleri, laboratuvar koşullarında bir elektrik akımından, bu akımın sürekli dalgalanmasını sağlayarak (yani akımın yönünü pilin bir kutbundan diğerine ve sonra ters yönde defalarca değiştirerek) "yeni" elektromanyetik dalgalar üretilebileceğinin habercisi oldular. Maxwell'e göre, elektromanyetik ışınım tayfı o zaman bilinenden çok daha genişti.

Radyo Dalgalarının Bulunuşu

Maxwell'in zamanından çok önce de görünür ışığın kırmızıdan başlayıp gökkuşağının bütün renklerini tarayarak morda son bulan bir renk tayfından meydana geldiği bilinmekteydi.

* Kitabı Mukaddes'in Tekvin Kitabı'ndaki, Tanrı'nın ışığı yaratmasıyla ilgili tümceye bir gönderme: Tanrı, "Işık olsun" diye buyurdu ve ışık oldu. (ç.n.)

1801'de hem Alman hem Britanya uyruklu gökbilimci Sir William Herschel (1738-1822) tayfın kırmızı ucundaki ışığın ısı etkisi yaptığını keşfetti; ardından da, kırmızı bölgenin ötesine geçildiğinde çok daha büyük bir ısıyla karşılaşıldığını fark etti. Isı etkisini yaratan ışınım gözle görülemiyordu; Herschel de bu görünmez dalgalara **kızılötesi ışınlar** ismini verdi. Aynı yıl Alman fizikçi Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) tayfın mor bölgesinin ötesinde yer alan ve yine gözle görülmeyen **morötesi ışınımı** keşfetti. Yani on dokuzuncu yüzyıl başlarının tayfı kızılötesinden başlayıp gökkuşağının görünür renklerini tarıyor ve morötesi ışıkta sona eriyordu; yüzyılın dörtte üçü boyunca da bu böyle kaldı. Halbuki Maxwell'in harikulade denklemleri, sonradan elektromanyetik ışınım tayfı olarak tanımlanacak genişlemenin ipucunu çoktan vermişti: Kızılötesi ve morötesi ışıkların da ötesinde, her iki uçta da başka görünmez ışın türlerinin olması gerekiyordu.

Maxwell denklemleri bu yeni elektromanyetik dalgaların salınım frekansının, elektrik akımının dalgalanma hızı tarafından belirlenmesi gerektiğini öngörüyordu. Akımın dalgalanma frekansı ne kadar yüksek olursa, oluşan elektromanyetik dalgaların titreşim frekansının da o kadar artması beklenir.

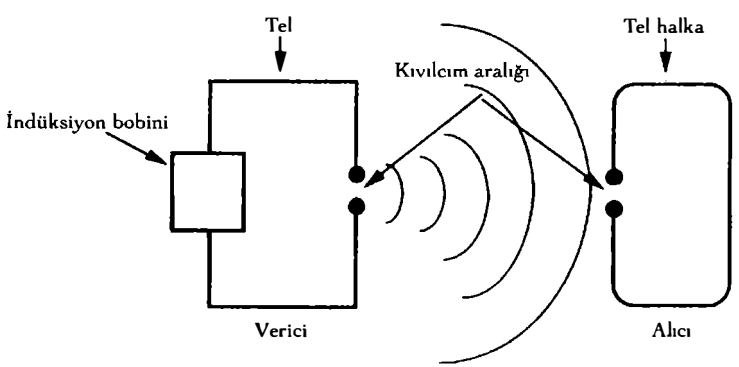
Bilim adamlarının çoğu Maxwell'in denklemlerini ciddiye almadılar; dolayısıyla bu denklemlerin çığır açıcı önemi başlangıçta takdir edilmedi. Ne yazık ki Maxwell 1879'da, varlıklarını öngördüğü yeni elektromanyetik ışınların en sonunda keşfedilmesinden neredeyse on yıl önce kanserden ölmüştü. Fikirleri ancak Heinrich Hertz'in laboratuvarda radyo dalgaları yaratıp, sonra da bunları tespit etmesiyle doğrulandı.

Hertz, Maxwell'in elektromanyetik kuramını 1883'te incelemeye başlamıştı. Deneylerinin bir aşamasında, dalgalı bir elektrik akımı üreten, adına da indüksiyon bobini denen bir alet kullanıyordu. Bu bobin aralarında boşluk olan iletken iki tele bağlandığında, boşluğu atlayarak geçen bir kıvılcım meydana geliyordu. 1888'de böyle bir alette yaratılan kıvılcımın, yakına yer-

leştirilen ikinci bir bobindeki aralıkta da kıvılcım oluşmasına neden olduğunu keşfetti (Şekil 5). Yapılan başka deneyler de bunu doğruladı: Arada küçük bir açıklığı bulunan ama elektrik kaynağına bağlı olmayan ikinci bir tel, ilk kıvılcım aralığından yaklaşık bir buçuk metre uzağa konup ilk tele akım verildiğinde, ikinci aralıkta da bir kıvılcım oluşuyordu.

Hertz, bunun uzun zaman önce Maxwell'in öngördüğü elektromanyetik dalgaların varlığına kanıt oluşturduğuna emindi. İlk kıvılcım aralığından gelen sinyalin, Maxwell'in öngördüğü özellikleri taşıdığını keşfetmişti. Bu sinyal elektromanyetik ışınıma benzer davranış gösteriyor, örneğin düz bir hat boyunca yol alıyor ve önüne metal bir levha tutulduğunda, tıpkı ışığın aynadan yasıması gibi, levhaya çarpıp yansıyordu. Hertz'in bu basit aygıt aracılığıyla ürettiği dalgalara bugün radyo dalgaları diyoruz.

Hertz, Maxwell'in tahminlerini doğru çıkarmıştı. Radyo dalgaları üreten ve algılayan aygıtı, radyo iletişim sisteminin ilk örneğiydi: İlk kıvılcım aralığıyla indüksiyon bobini radyo vericisine denk düşerken, ikinci bobin ve onun aralığı da radyo alıcısı oluyordu.



Şekil 5. Hertz'in radyo dalgaları üretmek ve belirlemek için kullandığı donatı. İndüksiyon bobininin ürettiği dalgalı elektrik akımı, bu bobine bağlı iki tel arasındaki boşlukta kıvılcım oluşmasına neden oluyor. Bu boşlukta radyo dalgaları oluşuyor ve biraz uzağa yerleştirilmiş ikinci bir tel halkadaki boşlukta da kıvılcım yaratmaları nedeniyle tespit edilebiliyorlar. İndüksiyon bobini ve ilk kıvılcım aralığı radyo vericisinin ilk örneğini oluştururken, ikinci tel halka ve onun aralığı da radyo alıcısının ilk örneği sayılıyor.

Bu halde bile, yapılan buluşun bir telsiz iletişim yöntemi olarak uygulanabilme olasılığı anlaşılmamıştı. Hertz, aygıtının bir uzun mesafe iletişim aracı olarak geliştirilmesinin önüne ciddi bilimsel sorunlar çıkacağını düşünüyordu. Onu esas mutlu eden Maxwell'in elektromanyetik kuramını ispatlamış olmaktı. Zaten Hertz 1894'te daha çok gençken, otuz yedi yaşında öldü. Hertz'in aygıtının gerçek bir radyotelgraf düzeneğine dönüşebilmesini ise büyük ölçüde Guglielmo Marconi'ye borçluyuz.

Marconi ve Radyo İletişim

Marconi'nin Hertz'le bağlantısı, Bologna Üniversitesi'indeki öğretmenlerinden biri olan öğretim görevlisi Augusto Righi (1850-1920) aracılığıyla oldu. Righi Hertz'in özgün vericisini geliştirmekle ilgiliydi; Hertz öldüğünde bir İtalyan bilim dergisinde yayımlanan ölüm ilanını da o kaleme almıştı. O sıralar yalnızca yirmi yaşında olan Marconi bu ilanı okudu ve Hertz'in çalışmalarıyla ilgilenmeye başladı.

Marconi akademik bir bilim adamı olmaktan çok bir mucit ve mühendisti. Hertz'i tamamlaması ve radyo dalgalarını uygulama alanına taşıması da zaten bu sayede mümkün oldu. Sonradan "O zamanlar bana, bu ışının artırılabilse, geliştirilip kontrol edilebilse, boşlukta azımsanmayacak uzaklıklara sinyal göndermek kesinlikle mümkün olur gibi geliyordu." diyecekti. Ailesiyle birlikte yaşadığı evin çatı katında çalışıp Hertz'in radyo alıcı ve vericisini ayrıntıyla işleyip geliştirerek önce 10 metre, daha sonra 30 metre uzakta ikinci bir kıvılcım yaratmayı başardı. Zamanla alıcıyla verici arasındaki uzaklığı 3 kilometreye kadar artırdı, üstelik alıcıyla vericinin arasına bir tepe bile girse sorun çıkmıyordu.

Bu noktada Marconi çalışmalarının vaat ettiği olağanüstü sonuçlara değer verileceğinden hiç kuşku duymayarak mali destek için İtalyan hükümetine başvurdu, ama ne yazık ki geri çevrildi. Başka bilim adamları bile radyo dalgalarının çok uzak mesafelere gönderilebileceğini inanılır bulmuyorlardı, özellikle de radyo dalgaları düz çizgiler boyunca yol aldıkları için. Dün-

ya'nın yuvarlaklığının sinyallerin alıcıya ulaşmasını engellemesi gerektiğini düşünüyorlardı. Marconi bu mantığa kulaklarını tıkadı ve çok uzak mesafelere radyo sinyali ulaştırma çabalarında ısrar etti. Projesine mali destek aramak için, doğru bir seçim yaparak Britanya'ya başvurmaya karar verdi ve 1896'da Londra'ya taşınarak çalışmalarını orada sürdürdü.

1897'de Marconi radyo dalgaları gönderme alma mesafesini 14,5 kilometreye çıkarmıştı. 1898'deyse Manş Denizi'nin karşı kıyısına ilk radyo dalgası iletimini gerçekleştirdi. 1901'de Newfoundland, St. John'da, üzerine bir "alıcı anten" bağlanmış bir uçurtma aracılığıyla 3200 kilometre uzaktan, İngiltere'nin Cornwall bölgesindeki Poldhu'dan Mors alfabesiyle gönderilen "S" harfini almayı başardı. Böylece ilk radyo dalgaları başarıyla Atlantik ötesine erişmişlerdi. Radyo dalgaları gerçekten de inanılmaz uzaklıklara gönderilebiliyorlardı.

Radyo dalgalarından bir telsiz iletişim aracı olarak yararlanma konusunda gelişmeler hızla birbirini izledi. 1906'ya gelindiğinde verici ve alıcı aletler artık o denli detaylandırılmıştı ki, dünyanın bir köşesinden yayımlanan bir konuşmanın başka herhangi bir yerden dinlenebilmesi mümkündü. Radyo iletişim ilk başta özellikle gemiden karaya iletişim açısından önemliydi. Radyo keşfedilmeden önce, karada bir yerden başka bir yere mesaj iletmek için elektrik kabloları kullanılıyordu. Aslına bakılırsa 1876'da İskoç-Amerikalı mucit Alexander Graham Bell (1847-1922) sesin kablolar boyunca elektrik darbeleri halinde iletilmesini sağlayan telefonun patentini almıştı. Ancak telsiz iletişim, özellikle de uzun mesafelerde çok daha kullanışlıydı. Radyonun yayımcılıkta (radyo ve televizyon), endüstride, askeri iletişimde, uzayda iletişimde ve gündelik yaşamımızın daha pek çok alanında kullanıldığı günümüz dünyasında, her şeyin James Clerk Maxwell'in elektromanyetizmayı matematiksel olarak çözümlemesiyle başladığını unutuyoruz.

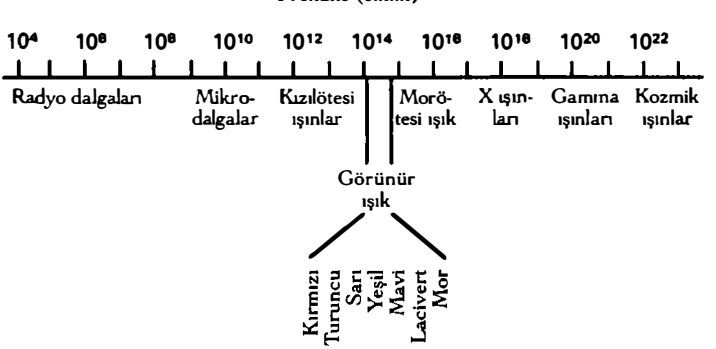
Marconi'nin radyoyla ilgili çalışmalarının bir yan ürünü olarak ortaya çıkan başka bir ilginç buluş da **iyonosfer**in, yani at-

mosferin üst tabakasının yüklü parçacıklar taşıyan bölgesinin saptanması oldu. İyonosfer tabakası bilinmezken, bilim adamlarının ülkeler arası uzun mesafe radyo dalgaları gönderilebileceğine kuşkuyla yaklaşmaları mantıklı görülebilirdi. Çünkü gönderilen dalgalar ya Dünya'nın yuvarlaklığı yüzünden alıcıyla buluşamayacak, ya da yukarıya yönelip atmosferin üst kısımlarında kaybolacaktı. Halbuki gerçekte, radyo dalgaları iyonosferden yansıyarak Dünya'ya geri döner; bunca uzun mesafeleri kat edebilmelerini sağlayan da bu yansımadır. Aslında Marconi'nin uzun mesafelere de radyo sinyalleri gönderilebileceğine inanması için mantığa uygun hiçbir nedeni yoktu, ama yine de başarılı oldu. Onun azmi bilim adamlarının, bazı kuşkuları da olsa, önemli bir deneyden vazgeçmeden önce iyi düşünmeleri gerektiğini gösteriyor. Dönemin bilgileri yapılan deneyin başarısız olacağını öngördüğü halde, sonuçta önemli bir buluşun ortaya çıkması görülmemiş değildir. Marconi'nin durumunda ise deney, her ne kadar o zaman kimsenin varlığından haberi yoksa da, iyonosferin varlığı sayesinde başarıya ulaşmıştır.

Radyo dalgaları görünür ışığa, kızılötesi ve morötesi ışınlara göre çok daha düşük frekanslarda titreşirler. Bugün bilinen haliyle elektromanyetik tayf (Şekil 6), frekans dizisi düşünüldüğünde o dönemde Faraday'ın ve Maxwell'in bildiği tayftan çok daha geniş bir alanı kapsıyor. Maxwell'in denklemleri yalnızca radyo dalgalarını değil tayfın morötesi ucundan ötedeki ışınımları da haber vermişti. Sonradan X ışınlarının, gamına ışınlarının ve kozmik ışınların keşfedilmesi elektromanyetik dalga kuramını daha da güçlendirdi

Kızılötesi ışınların frekansları ve radyo dalgası frekansları arasında mikrodalgalar da keşfedildi. Bugün bunlar radarlarda, telekomünikasyonda, tıpta, gökbilimde ve bir de tabii ki mikrodalga fırınlarda kullanılıyor.

Maxwell'in denklemleri, günümüz bilim adamları tarafından çağdaş fiziğin doğuşu olarak nitelendiriliyor. Maxwell ışığı elektrik ve manyetizmayla birleştirerek fizikçilerin dünyayı al-



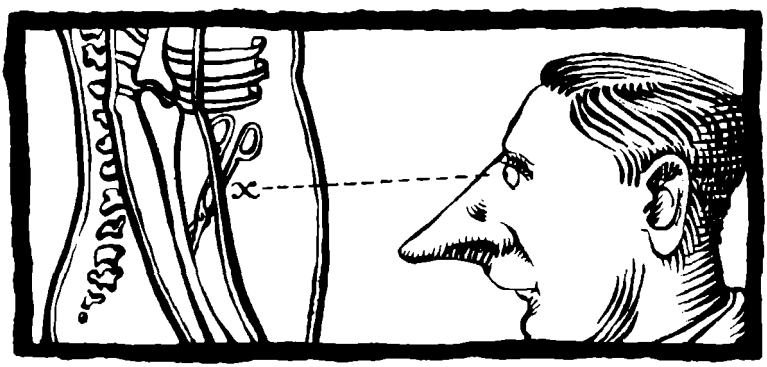
Şekil 6. Elektromanyetik ışınım türlerini gösteren elektromanyetik tayf. Hertz'in radyo dalgalarını bulmasından önce yalnızca kızılötesi ışınlar, görünür ışık ve morötesi ışık bilinmekteydi. Maxwell'in elektromanyetik kuramı başka frekansların da var olduğunu öngörüyordu. Bunlardan ilk keşfedileni radyo dalgaları oldu. Frekans değerleri, saniyedeki salınım sayısıdır.

gılama biçimini de değiştirmiştir. Einstein'a göre "Gerçeği kavrayıştaki bu değişim, fizik dünyasının Newton'dan beri karşılaştığı en köklü ve en doğurgan dönüşümdür."

On dokuzuncu yüzyılın bitmesine çok az bir süre kala tamamen şans eseri olarak X ışınları bulundu; yirminci yüzyıla girildiğindeyse Maxwell'in kuramı fizikte bir zafer olarak kabul ediliyordu.

III. Bölüm

Tıbbın Büyülü Işınları



Maxwell'in denklemleri görünür ışıktan daha düşük frekanslarda titreşen radyo dalgalarının varlığını öngörmenin yanı sıra, morötesi ışıktan daha yüksek frekanslara sahip elektromanyetik ışınımlar olması gerektiğini de göstermişti. 1895'te Alman bilim adamı Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) bütün dünyayı şaşırtan ve tıpta da büyük bir etki yaratan böyle bir yeni ışın türü belirledi. **Röntgen ışınlarının**, günümüzde daha çok bilinen adıyla **X ışınlarının** keşfi, bilimsel araştırmada şansın oynadığı önemli rolün kusursuz bir örneğidir. Bu olay, Pasteur'ün "şans yalnızca ona hazır olana iltimas geçer" sözünün de doğrulanışı gibidir; çünkü Röntgen'den önce pek çok fizikçi X ışınlarıyla karşılaşmış, fakat bu ışınların önemini anlayamamıştır. Röntgen ise olağandışı bir şey fark etmiş, araştırmasını derinleştirmiş, sonun-

da yepyeni ve temel bir olguyla karşı karşıya olduğunu anlamıştı.

Her gelişmiş ülkenin hemen hemen her hastanesinde bir röntgen bölümü vardır ve bu ülkelerde yaşayan insanlar arasında hayatında hiç değilse bir kere röntgen çektirmemiş olanlar parmakla sayılacak kadar azdır. X ışınları kemik kırıklarını, kazayla yutulmuş cisimleri, bir yaraya gömülmüş cam veya şarapnel parçacıklarını ve hatta ameliyat sırasında hastanın içinde unutulmuş aletleri belirlemeye yarar. Kanserli urlar bile bu yöntemle belirlenebilir; güçlü X ışını demetleri bazı kanser türlerini yok etmede kullanılabilir. 1970'lerde icat edilen bir makine olan eksenel bilgisayar tomografisi* tarayıcısı, gövdenin herhangi bir yerinden kesit alıp buradaki ufacık doku bölgelerinin bilgisayarın da yardımıyla incelenmesini sağlayan bir röntgen aletidir. Günümüzde bu alet hastalıklı dokuyu geçmişte mümkün olmayan bir kesinlikte saptayabilmektedir. Röntgen'in şans eseri yaptığı bu buluş sayesinde sayısız hayat kurtarılmış, hastalıkların önüne geçilebilmiştir.

X ışınlarının temel bilimsel araştırmalara da büyük etkileri olmuştur; örneğin proteinlerin ve başka maddelerin üç boyutlu moleküler yapılarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu araştırmalar şimdilerde, şekerden kalp hastalığına çeşitli rahatsızlıkların tedavisi için ilaç hazırlanması çalışmalarında kullanılıyor ve kısa sürede sonuç elde edileceğe benziyor. X ışınlarının tıpta şimdiye dek yarattığı harikalar, ilerisi için vaat ettikleriyle kıyaslandığında, buzdağının yalnızca görünen kısmı sayılır. Endüstride, X ışınları makinelerdeki ve binalardaki yapı hatalarını belirlemede kullanılıyor: Yapılıp bitmiş cisimlerin artık görünmeyen bölgelerini söküm veya yıkım gerektirmeden görülür hale getiriyorlar. Sanat dünyasında ise X ışınları, bir yağlıboya resmin üstüne sürülmüş boya katmanlarını geçerek, en alttaki "gizli kalmış" özgün eseri inceleyebilmemizi sağlıyor. Ayrıca, uçağa binmeden önceki olağan bagaj kontrollerinde de aynı ışınlar kullanılıyor.

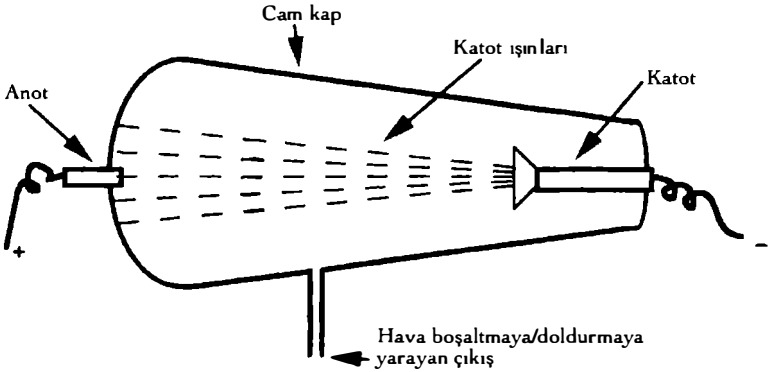
* CAT: Computerised Axial Tomography (ç.n.)

Röntgen X ışınlarını ilk açıkladığında, bu yepyeni ve biraz esrarengiz ışınım, kamuoyu ve basın tarafından büyük bir dehşetle karşılandı ve yanlış anlaşıldı: Londra'da bir iç çamaşırı üreticisi X ışını geçirmeyen iç çamaşırları ürettiğini duyurdu; New Jersey'li bir politikacı X ışınlarının opera gözlüklerinde kullanılmasını engellemek amacıyla bir kanun tasarısı sundu; ayrıca X ışınlarının evlerin duvarlarından içeri süzülüp kişilerin mahremiyetine son vereceği gibi bir endişe uyandı. Bu korkular tamamen temelsizdi ve bilgisizlikten kaynaklanıyordu. Keşfi izleyen birkaç ay içinde New Hampshire'daki bir hastane bir kemik kırığını belirlemek için ilk defa X ışınlarını kullandığında, bu yeni ışınların yararları anlaşılmaya başlayacaktı. Başka bilimsel buluşlarla karşılaştırıldığında, X ışınlarının toplum yararına uygulamaya konmasındaki hızın neredeyse eşi benzeri görülmemiştir: Kuramsal bir araştırmanın meyvelerinin toplanması genellikle çok daha uzun zaman gerektirir. X ışınları bilimde ve tıpta müthiş bir gelecek vaat ediyordu; Röntgen de bu büyük buluşundan ötürü 1901'de verilen ilk Nobel Fizik Ödülü'nün haklı sahibi oldu.

X ışınlarını keşfettiğinde Röntgen, Almanya'da Wurzburg Üniversitesi'nde elli yaşında bir fizik profesörüydü. Bu olağanüstü buluşta yardımcı rolü üstlenen ise **katot ışınlı tüp** veya Crookes tüpü denilen, fizikçilerin bir süredir elektrik ve maddenin özelliklerini incelemek için kullanageldikleri, Michael Faraday'ın önceki çalışmalarına dayanılarak geliştirilmiş bir aletti.

Katot Işınları

Faraday elektriğin "parçacıklarını" tespit etme olasılığı üzerinde de çalışmıştı. 1838'de bir pilin kutupları, sıkıca kapatılmış ve içindeki hava kısmen boşaltılmış bir cam tüpe yerleştirildiğinde, pilin eksi kutbunun (**katot**) karşısındaki bölgenin ışımasına neden olduğunu, fakat artı kutbun (**anot**) aynı işi görmediğini fark etti. Faraday katotun ışımaya neden olan bir şey yaydığını düşündü. Bu aygıt, sonradan Britanyalı bilim adamı Sir



Şekil 7. Katot ışınlı tüp. Bir elektrik kaynağının eksi (katot) ve artı (anot) kutupları cam kabın iki ucuna yerleştiriliyor. Elektrik açılıp kaptaki hava boşaltıldığında, katottan bir elektron akımı (katot ışınları) yayılıyor. Bu elektronlar kabın çeperine çarparak camda flüorışınıma neden oluyor. Röntgen, katot ışınlarının cam kapta flüorışınım yarattığı noktada X ışınları meydana geldiğini keşfetmişti.

William Crookes (1832-1919) tarafından sayısız uyarlaması geliştirilen katot ışınlı tüpün öncüsüydü.

Katot ışınlı tüp bir ucunda anot, diğer ucunda katot olan, hava sızdırmayacak şekilde kapatılmış bir cam tüpten oluşur. Cam kabın, hava veya başka gazlar doldurmaya veya boşaltmaya yarayan bir de çıkışı vardır (Şekil 7). Bu alet, bugünkü floresan lambanın ve neon ışıklarının atası ve televizyonu oluşturan parçalardan biridir. Ayrıca dışarıdan gelen sinyalleri (ses veya hareket) önce elektrik darbelerine, sonra da bir ekranda grafik görüntüye dönüştürmek için kullanılan katot ışınlı osiloskopun esas bileşenidir. Katot ışınlı osiloskop bilimsel araştırmalarda, endüstride ve mühendislikte en çok yararlanılan araçlardan biridir.

On dokuzuncu yüzyılın sonlarına doğru artık katottan dışarıya düz çizgiler halinde bir şey yayıldığı ve karşıdaki anota çarptığı açıkça anlaşılmıştı. Anot katotun tam karşısına düşmeyecek şekilde yerleştirildiğinde, katottan yayılanlar anota isabet edemiyor, bunun yerine tüp duvarının tam katotun karşısındaki noktasına vurarak camda parlak bir leke yaratıyorlardı. Tüpün içine katonun önüne gelecek şekilde bir cisim konduğunda, kabın duvarında bu cismin gölgesi beliriyordu. Bu özel-

likler bazı bilim adamlarını katotun bir tür ışınım yaydığına inandırdı, dolayısıyla da bunlara **katot ışınları** adı verildi. Bazı başka bilim adamları ise katot ışınlarının (özellikle de mıknatıs kutuplarınca yönlerinin saptırılabilmesine dayanarak) elektrik zerrecikleri olduğunu düşünüyorlardı; çünkü normal ışığın mıknatıstan etkilenmediği biliniyordu. Günümüzde artık bildiğimiz gibi katot ışınları, atomların evrensel bileşeni ve elektrik taşıyan eksi yüklü parçacıklar olan elektronların oluşturduğu ışın demetleridir.

Katot ışınları cam tüpün duvarına açılmış, metal yaprak parçalarıyla kaplı küçük pencerelerden geçebiliyorlardı. Metalle kaplı pencerelerin birkaç santimetre ötesine konulmuş belirli kimyasal maddelerde flüorışınım yaratabilmeleri nedeniyle, tüpün dışında da varlıkları tespit edilebiliyordu. Flüorışınım, bir maddenin ışınıma maruz kalması sonucunda ışık yaymasıdır. Işınım kesildiğinde flüorışıl madde de parlamaz. Fizikçiler flüorışıl ekranları kullanarak, katot ışınlarının soluduğumuz havayı yalnızca iki üç santimetre delebildiğini göstermişlerdi; bunun ötesinde, havadaki moleküller tarafından emildikleri için ortadan kayboluyorlardı.

Röntgen, X ışınlarını işte bu bilgilere dayanarak keşfetti. Özellikle katot ışınlarının yarattığı flüorışınımla ilgileniyor, ayrıca katot ışınlı tüpün cam duvarından geçip geçemeyeceklerini merak ediyordu.

Röntgen'in Buluşu

1895 yılının Kasım ayında Röntgen, flüorışınımın camdan dışarı çıkmamasını sağlamak için katot ışınlı tüpün dış yüzeyini ince siyah kartonla kapladı. Düşüncesi şuydu: Cam duvarda küçük bir alan kaplanmamış bırakılarak, yakınına flüorışıl malzemeden bir perde konacaktı; katot ışınları camı geçiyorlarsa, flüorışıl perdenin de ışımasına yol açmaları gerekirdi. Katot ışınlı tüpü kurdu, laboratuvarındaki ışıkları söndürerek tüpe elektrik akımını verdi.

Cam duvardan dışarıya gözle görünür bir flüorışıl sızıntı kesinlikle yoktu. Fakat Röntgen, yeşil bir parlaklık görür gibi oldu. Bu parlaklık bir metreden daha uzakta, yani katot ışınlarının ulaşamayacağı denli uzakta duran bir cisimden yayılıyordu. Cam duvardan dışarı ışık kaçıp kaçmadığını tekrar kontrol etti, hiçbir sızıntı bulamadı. Tüpe tekrar elektrik akımı verdiğinde, yeşil renkli parlaklık da aynı yerde yeniden ortaya çıktı.

Bazı bilim adamları bu noktada olayı dikkate almayıp, üstünde uğraştıkları deneye devam edebilirlerdi. Ama Röntgen, gerçekten olağandışı ve ilginç bir şeyle karşılaştığını anlayacak sezgiye sahipti. Yeşil ışıltının nedeninin katot ışınları olamayacağından kesinlikle emindi; çünkü katot ışınları havada birkaç santimetreden fazla yol alamazlardı. Yeşil ışığın kaynağını araştırdığında, bunun flüorışıl bir kimyasal maddeden imal ettiği perdelerin birinden geldiğini fark etti. O zamana dek tanımlanmamış bir şey katot ışınlı tüpten dışarı yayılıyor, havada bir metreden fazla yol alıyor ve flüorışıl perdenin ışımasına neden oluyordu.

Bu keşif Röntgen'i öyle heyecanlandırdı ki, izleyen altı haftayı gece gündüz laboratuvarında çalışarak, hatta orada uyuyarak geçirdi. Bu kısa süre, girim gücü çok yüksek yeni bir ışınım türü keşfettiğine ikna olması için yeterliydi. Doğasının bilinmezliği nedeniyle "X ışını" diye adlandırdığı bu ışınlar kâğıttan (bin sayfalık bir kitap bile olsa), kalay yaprağından, ahşaptan, kauçuktan ve başka pek çok malzemeden geçebiliyorlardı. Yalnızca kurşun onları durdurabiliyordu ve bazı malzemeler diğerlerine göre daha geçirgen gibiydi. Röntgen şunu da gözlemledi: "Boşalmalı lamba (yani katot ışınlı tüp) ile (flüorışıl) perde arasına elimizi tuttuğumuzda, elin kendisinin hafifçe koyu renk gölgesinin içinde kemiklerin daha koyu gölgesi de perdeye yansıyor." İlk defa birisi, canlı ve sağlıklı bir insanın kemiklerini görebiliyordu! Bunun ardı sıra Röntgen, X ışınlarının fotoğraf filminde kararmaya yol açtığını buldu ve kendisinin çektiği, karısının elinin kemiklerini ve evlilik yüzüğünü de gösteren fotoğ-

raf, X ışınıyla çekilmiş ilk gerçek fotoğraf oldu. Röntgen buna ek olarak X ışınlarının tahta bir kutunun içindeki metal cisimlerin belirlenmesinde de kullanılabileceğini gösterdi.

Katot ışınlarının tersine, mıknatıs tarafından yönleri değiştirilemeyen X ışınları havadaki molekülleri yükleme yeteneğine de sahipti. X ışınlarının birçok özelliği ışık dalgalarının veya başka elektromanyetik ışınım biçimlerininkilerle karşılaştırılabilir olduğu halde, Röntgen ne yazık ki X ışınlarını ne mercekle odaklamayı başarabildi, ne de kırınım (köşe dönebilme) yeteneklerini ispatlayabildi. Fizikçiler ancak on yıl sonra X ışınlarının dalga niteliğini tam olarak açıklayabildiler ve onları elektromanyetik tayfta doğru yerlerine yerleştirebildiler (Şekil 6). Dalgaların salınım sıklığının yüksek ve boylarının (dalga boyu) kısa olması nedeniyle, X ışınları yalnızca son derece dar aralıklarda, örneğin kristallerdeki atom sıralarının aralarındaki boşluklarda kırınır. Gerçekten de X ışınlarının kristaller tarafından kırınımı, pek çok maddenin moleküler yapısının belirlenebilmesini mümkün kılmıştır. **X ışını kristalografisi** çağdaş kimya ve biyokimyanın vazgeçilmez araçlarından biridir: Canlı hücrelerdeki ve organizmalardaki birçok biyolojik süreci gerçekleştiren proteinler olan enzimleri anlamamıza çok büyük katkıları olmuştur. Bir organizmanın karakterini belirleyen bilgileri taşıyan molekülün, yani kısaca DNA diye anılan dezoksiribonükleik asitin yapısını belirlemede de önemli rol oynamıştır.

Röntgen, katot ışını tüpünden kaynaklanan ve flüorışıl perdeye vuran ışınımın, laboratuvarının diğer bir köşesinde neden olduğu yeşil parlaklığı tesadüfen görmüş ve öneminin ayırdına varmıştı. X ışınlarının keşfi, bilim adamlarının bir olguyu incelemek üzere yola koyulup da, deneyleri sırasında bambaşka bir olguya rastladıkları sayısız örnekten yalnızca biridir. İngilizcede rastlantısal bir buluşu tanımlamak için kullanılan sözcük olan **serendipity***, İngiliz politikacı Horace Walpole (1717-1797) tarafından ortaya atılmıştı. Sözcüğün aslı üç prensin sü-

* *Serendipity*: İlginç veya değerli şeyleri tesadüfen buluverme yeteneği (ç.n.)

rekli olarak birtakım rastlantısal buluşlar yaptığı "Serendip'in Üç Prensi" isimli eski bir İran masalından geliyor. (Serendip ayrıca Sri Lanka'nın eski adıdır.)

1896'da Röntgen'in X ışınlarını keşfinden yalnızca birkaç ay sonra, bu keşfin bir sonucu olarak rastlantısal bir buluş daha yapıldı: Radyoaktivite. Bir yıla kalmadan fizikte büyük bir dönüşüm yaşanmış ve insanoğlu atom çağına girmişti.

IV. Bölüm

Karanlıkta Parlayan Şeyler



Vatikan 1988'de İsviçre'deki, İngiltere'deki ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki üç laboratuvarın Torino Kefeni'nden (İsa'nın kefeni olduğu rivayet edilen dinsel kalıntı) küçük parçalar almasına izin verdi. Amaç **karbon-14'le tarihleme** yöntemi (radyokarbonla tarihleme yöntemi de denir) adı verilen bir tarih saptama yöntemini kullanarak kefenin yaşını tespit etmekti. 1578'den beri İtalya'nın Torino kentinde saklanan keten kefen bezinin üstünde güya sakallı bir adamın önden ve arkadan çok net bir izi vardı. Kefenin üzerindeki izlerin diken tacın ve çeşitli berelerin yanı sıra, İsa'nın çarmıha gerilişinin damgası olduğu ileri sürülen yaraların izleri olduğu söyleniyordu. 1970'lerde yapılan deneylerden bunların boyayla mı yapıldığı, yoksa yanık veya başka şeylerin izi mi olduklarına ilişkin tam bir sonuç alınamamıştı. Son yıllarda iyice geliştirilen

ve giderek daha kesin sonuçlar veren karbon-14'le tarihleme yönteminin, bezin yaşının kesin olarak hesaplanmasını sağlayacağı düşünülüyordu. Acaba kefen gerçekten de İsa'nın izlerini taşımak için olması gereken yaşta, yani iki bin yaşında mıydı.

Üç laboratuvarın sonuçlarının aynı çıkması dikkat çekiciydi: Torino kefeni MS 1260 ile 1390 yılları arasındaki bir tarihte yapılmıştı. Roma Katolik Kilisesi verileri kabul etti. Karbon-14'le tarihleme yöntemi sayesinde kefenin İsa ile hiçbir ilişkisi olamayacağını biliyoruz.

Torino Kefeni olayı, çağdaş bilimsel yöntemlerin arkeolojik problemleri nasıl çözebildiğini açıkça göstermektedir. Karbon-14'le tarihleme yöntemi şu ilkeye dayanır: Canlı organizmalar dokularındaki büyük miktarda sıradan, radyoaktif olmayan karbona (karbon-12) ek olarak, az ama yine de ölçülebilir miktarda, kendiliğinden radyoaktif karbon da (karbon-14) biriktirirler. Bütün canlılardaki karbonun esas kaynağı ise atmosferdeki karbon dioksittir. Atmosferde bulunan karbon dioksitteki karbon-12'nin karbon-14'e oranı temelde hep sabit kalır. Her karbon-14 atomu sonunda mutlaka bozunup radyoaktivitesini kaybettiği halde, havadaki bir kısım azotun kozmik ışınların ürettiği nötronlarca bombardımana tutularak karbon-14'e dönüştürüldüğü nükleer tepkimeler sayesinde, atmosferdeki karbon-14 atomları bir yandan da sürekli yenilenirler.

Canlı organizmalar öldükten sonra artık atmosferden yeni karbon dioksit soğurmazlar. Dolayısıyla bir hayvan, bitki veya bakteri ölüsündeki karbon-14 bozunarak yıllar içinde giderek azalırken, radyoaktif olmayan karbon-12'nin miktarı organizmanın öldüğü tarihte olduğu gibi kalır. Başka bir deyişle, organizmanın ölümünü izleyen zaman dilimi uzadıkça karbon-14'ün karbon-12'ye oranı düşer. Karbon-14 düzeyinin yarıya düşebilmesi için gereken zamanın beş bin yedi yüz otuz yıl olduğu biliniyor. Yani karbon-14'ün karbon-12'ye oranı beş bin yedi yüz otuz yılda başlangıçtaki (ölüm anındaki) değerinin yarısına iniyor. Ölü bir organizmadaki karbon-14'ün karbon-

12'ye oranı belirlenerek ölüm tarihi yaklaşık olarak hesaplanabiliyor. Karbon-14'le tarihleme yöntemi arkeolojide ve jeolojide yaygın olarak kullanılmaktadır. Ahşap, odun kömürü, bez (Torino Kefeni'nin keteni gibi), kemik, kabuk, hayvan ve bitki dokuları gibi bir zamanlar canlı olan herhangi bir maddeye bu yöntem uygulanabilir. Tarihöncesi insan yerleşimleri, Mısır gömütleri, jeolojik kayaç katmanları, tarihsel, arkeolojik ve jeolojik önem taşıyan daha birçok örnek için tarih ve yaş tespiti yapılabilir.

Karbon-14'le tarihleme yöntemi, yirminci yüzyılda radyoaktivite üzerine öğrenilenler sonucu ortaya çıkan pek çok uygulama alanından yalnızca biridir. Temel biyoloji, tıp ve kimya araştırmaları bu bilgilerden inanılmaz ölçüde yararlanmış, uygulamalı tıp da aynı şekilde payını almıştır. Radyoaktivitenin keşfinden hemen sonra, ölümcül urları radyoaktif maddelerden yayılan ışınlarla yok ederek yapılan kanser tedavisi gündeme geldi. Başlangıçta kanser radyoterapisinde radyum kullanılıyordu; şimdilerde ise başka yapay radyoaktif kimyasal maddeler, örneğin kobalt-60 aynı işlevi görüyor. Radyoaktif maddeler ayrıca vücuda şırıngalanarak belli bir organa gitmeleri sağlanabiliyor ve oradaki ışınımları tespit edilebiliyor. Bu ve benzeri yöntemler beyin urları, tiroit bezi sorunları ve kalp hastalıkları gibi pek çok rahatsızlığı teşhiste kullanılmaktadır.

Radyoaktivite 1896'da Fransız fizikçi Henri A. Becquerel (1852-1908) tarafından keşfedildiğinden bu yana gerçekten de çok yol aldı. Röntgen'in X ışınlarını buluşunda olduğu gibi radyoaktivite de, kuramsal bilimin ve basit görünen buluşların yıllar geçtikçe, uygulamada nasıl olağanüstü çeşitlilik gösterebildiğini harikulade biçimde gözler önüne seriyor. Radyoaktivitenin bulunuşu da tamamen rastlantısaldır ve şans eseri yapılan buluşların ilgili bilim adamlarının keskin bir gözlem gücüne sahip olmasını gerektirdiğini bir kere daha göstermiştir.

Radyoaktivitenin öyküsü, bilim tarihindeki en duygu yüklü gelişmelerden biridir. Birbirleriyle evli olan iki fizikçi, Marie

Curie (1867-1934) ve Pierre Curie (1859-1906) çok zor yaşam koşulları altında büyük bir heves, azim ve tutkuyla Becquerel'in buluşunun devamını getirdiler. Marie Curie, dünyanın gördüğü gerçekten büyük ilk bilim kadınıydı; ünlü çalışmasıyla yalnızca bir değil iki Nobel Ödülü birden alarak kadınlar adına bilime ön saflardan mükemmel bir giriş yaptı. Gelecekteki birçok bilim kadınına, erkek egemen bilim dünyasındaki engelleri aşmaları açısından esin kaynağı oldu.

Becquerel'in ve Curielerin buluşlarının bilim ve toplum üzerindeki etkisi tek kelimeyle olağandışıydı. Temel araştırmalar, tıp ve endüstrideki sayısız uygulamalar dışında, bir yandan topluma neredeyse sınırsız enerji sunabilme gizilgücü, diğer yandan da barındırdığı tüm tehlikelerle nükleer yakıt ortaya çıktı. Atom bombası ise gelişme aşamasındaydı. Radyoaktivitenin öyküsü, gerçekte Henri Becquerel ile başlar.

Becquerel'in Buluşu

Henri Becquerel 1895'te Paris'teki Politeknik Okul'a fizik profesörü olarak atanmıştı. Oraya gittikten kısa bir süre sonra da radyoaktiviteyi keşfetti. Flüorışınım ve fosforışınım olgularıyla, yani bazı maddelerin görünür ışığa veya başka elektromanyetik ışınım türlerine maruz bırakıldıklarında oluşan parlama yetenekleri ile çoktandır ilgileniyordu. Flüorışıl maddeler yalnızca ışınıma maruz bırakıldıkları süre boyunca parlarken, fosforışıl cisimler aydınlatma kesildikten sonra bir süre daha parlamaya devam ederler. Röntgen, katot ışını bombardımanıyla flüorışıl hale gelen katot ışınlı tüpün cam duvarlarından dışarıya X ışınları yayıldığını gözlemlemişti (III. Bölüm). Becquerel ise flüorışıl ve fosforışıl maddelerin genelde de X ışını yayıp yaymadıklarını merak etti; eğer yayıyorlarsa, katot ışınlı tüp kullanmaya gerek kalmadan X ışını elde edilebilecekti.

Bu varsayımı denemek için Becquerel, parlak güneş ışığına maruz kaldıklarında fosforışıl hale gelen bazı uranyum tuzlarını kullanmayı tercih etti. Eğer düşündüğü doğruysa, güneş al-

tında saatlerce bırakıldıktan sonra uranyum tuzlarının yaydığı X ışınlarını tespit edebilmeliydi.

Becquerel bir fotoğraf filmini kesinlikle ışık almayacak biçimde siyah bir kâğıda sararak, bu paketin üzerine bir uranyum tuzunun kristallerini yerleştirdi. Tuz kristalleri fosforışıl hale gelmeleri için saatlerce güneş altında bırakıldı ve daha sonra fotoğraf filmi banyo edildi. Becquerel, film üzerine tuzların net bir görüntüsünün çıktığını gördü; bu da tuzların kâğıdı aşıp geçen ve fotoğraf sıvısında kararmaya neden olan bir ışınım yaydıklarının göstergesiydi. Deneyin sonucu, Becquerel'in fosforışıl uranyum tuzunun X ışını yaydığı savını doğruluyordu; çünkü zaten daha önce Röntgen tarafından, X ışınlarının bir kâğıdın ardındaki fotoğraf filmi üzerinde aynı etkiye yol açtıkları ortaya çıkarılmıştı.

Bu heyecan verici buluşu bir kez daha doğrulamak için Becquerel deneyi tekrar etti. Fakat bu arada kaderi belirleyen bir dizi olay oldu: Paris'teki hava koşulları, tarihin akışını iyiye doğru yönlendirdi. Bequerel bir kere daha filmi siyah kâğıtla kaplayıp üzerine uranyum tuzunu koydu, ama iş tuzları güneşe çıkarmaya geldiğinde havanın bulutlanmış olduğunu gördü. Güneşin tekrar ortaya çıkmasını bekledi ama o gün hava hep kapalı kaldı. Sonunda Becquerel tuzu ve filmi, güneş tekrar parlayıp deneyine devam edebileceği zamana kadar, laboratuvarındaki çekmecelerden birine kaldırmaya karar verdi.

Ne var ki güneş, Paris'te üç gün daha yüzünü göstermedi. Bunun üzerine, deneyine devam etmek için yanıp tutuşan Becquerel filmi yine de banyo etmeye karar verdi. Filmin üzerine uranyum tuzunun çok soluk bir görüntüsünün çıkmış olmasını bekliyordu, çünkü tuzlar hafif bir ışığa maruz kalmışlardı ve çok az derecede fosforışıllaşmış olabilirlerdi. Ama hayret içerisinde gördü ki, tuzlar fotoğraf sıvısı üzerinde çok yoğun, hatta saatler boyunca çok güçlü güneş ışığı altında kaldıktan sonra olduğundan çok daha fazla kararmaya neden olmuşlardı. Uranyum tuzunun, fosforışıl özelliğinden bağımsız birtakım ışınlar

yaymış olabileceği aklına geldi. Tuzun önceden hiç ışığa maruz kalmadan, karanlıkta filmin üzerine konduğunda da fotoğraf sıvısının kararmasına yol açtığını göstererek bu savını doğruladı.

Bu ışınları üretmek için ışığa gerek yoktu, uranyum tuzları onları kendiliğinden yayıyordu. Becquerel şöyle yazdı: "Tuzlar yalnızca ışığa maruz kaldıklarında değil karanlıkta tutulduklarında da bu ışınlar yayılıyor; aynı tuzlar bu yeni ışınımı iki ay boyunca, miktarda fark edilebilir bir azalma olmadan yaymaya devam ediyorlar."

Becquerel, kendiliğinden ışınım yaymanın tüm uranyum tuzlarının bir özelliği olduğunu ispatlama çalışmalarına devam etti. Saf uranyumun, tuzlarından daha güçlü bir yayıcı olduğunu göstererek, bu ışınların kaynağının uranyum tuzlarının diğer bileşenleri değil de uranyumun kendisi olduğu sonucuna vardı. (Günümüzde uranyumun radyoaktivitesinin zamanla arttığını biliyoruz; çünkü uranyum bozunurken yerini kendinden daha radyoaktif başka bir elemente bırakır. Radyoaktivitenin esas kaynağı da uranyumdan çok bu maddedir.) Becquerel girim güçleri, fotoğraf sıvısını karartma yetenekleri ve havadaki moleküllerde yüklenmeye yol açmaları açısından, bu ışınların gerçekten de X ışınlarına benzediğini fark etti. Sonradan Becquerel'in gözlemlediği etkilerin kaynağının bir değil birçok ışınım türü olduğu, Becquerel'in ışınlarının X ışınlarına benzer özelliklerinin kaynağının ise X ışınlarından daha yüksek frekansa sahip bir elektromanyetik ışınım türü olan gamına ışınları olduğu ortaya çıkarıldı.

Bu, fizikçiler için olağandışı, açıklanması zor bir olguydu. Maddeden kendiliğinden ışınım yayıldığını daha önce gösteren olmamıştı. Becquerel ayrıca uranyumun yaydığı ışınımın, uranyumun kimyasal halinden ve dışsal koşullardan, örneğin sıcaklıktan etkilenmediğini ortaya koymuştu. Radyasyon yayımı, ortamdaki değişimlerden hiçbir şekilde etkilenmiyor gibiydi.

Pek az bilim adamının Becquerel'in buluşunun olası etkileri hakkında bir fikri vardı. Ama Paris'te çalışmakta olan Marie

Curie adında bir başka fizikçi bu buluşun önemini anlayacak kavrayışa sahipti. Söz konusu olguyu tanımlamak için "radyoaktivite" sözcüğünü ortaya atan da oydu. Eşi Fransız fizikçi Pierre Curie ile birlikte iki yeni radyoaktif element keşfedip yalıttı. 1903'te Nobel Fizik Ödülü "kendiliğinden radyoaktiviteyi keşfi için" Becquerel'e ve "Profesör Henri Becquerel'in bulduğu radyasyon olgusu üzerine yaptıkları ortak araştırmalar için" Curielere verildi.

Marie ve Pierre Curie

Marie Curie 1867'de Polonya'nın Varşova kentinde Marya Sklodowska adıyla dünyaya gelmişti. 1891'de fizik öğrenimi için Paris'e geldi ve kendi döneminin en yüksek fizik derecesiyle Sorbonne'dan mezun oldu. Polonya'ya dönüp öğretmenlik yapmayı düşünürken, kendi gibi Paris'te çalışan bir fizikçi olan Pierre Curie ile evlendi. Marie'nin doktora araştırmasını herhangi bir ücret almadan Pierre'in laboratuvarında yapmasına karar verdiler. Curieler Becquerel'in yeni buluşuna zaten ilgi duyuyorlardı; böylelikle Marie'nin doktora tezinin Becquerel'in ışınlarının doğası ve kaynağı üzerine olması gerektiğine karar verdiler.

Marie Curie uranyumun ışınım yaymasının, uranyum atomlarının bir özelliği olduğunu ve malzemenin kimyasal tepkimeye girebilme yeteneğiyle hiçbir ilgisi olmadığını düşünüyordu. Radyoaktivitenin atomun iç yapısına dair çok önemli ve temel bir şeyleri açığa çıkarabilecek "atomsal" bir özellik olduğu fikri, müthiş bir kavrama yeteneğinin göstergesiydi ve Marie Curie'nin araştırma konusu olarak radyoaktiviteyi seçmesinin esas nedeniydi. Maddenin temel özellikleri konusunda heyecan verici keşiflerin yapılmayı beklediği, henüz bakir bir alanda çalışma şansı vardı.

Önceden depo olarak kullanılan soğuk, nemli ve donanımı yetersiz bir laboratuvarda başladığı doktora araştırmasının daha ilk haftalarında Marie, radyoaktivite düzeylerinin kullandığı

radyoaktif örneklerdeki uranyum miktarıyla ilintili olduğunu ortaya çıkardı ve Becquerel'in uranyumun fiziksel veya kimyasal halinin yayılan radyasyon miktarını etkilemediğini gösteren çalışmalarını doğruladı.

Marie uranyumun yanı sıra radyoaktif olabilecek başka maddeler aramaya başladı. O dönemde bilinen elementleri içeren çeşitli kimyasal madde ve mineral örnekleri kullanarak, radyoaktif bir başka element daha keşfetti: Toryum. Demek ki uranyum tek örnek değildi; radyoaktivite ilk başta düşünüldüğünden daha yaygın bir olguydu.

Daha başka mineralleri, özellikle de pekblend (bir uranyum cevheri) örneklerini inceledikçe, bazılarındaki radyoaktivitenin içerdikleri uranyum veya toryum miktarına göre çok fazla olduğunu gören Marie Curie, bu minerallerde bir veya daha çok başka radyoaktif element olması gerektiğini düşündü. Bilinen tüm elementleri içeren mineralleri elden geçirmiş olduğu için, bu fazladan radyoaktif maddelerin yeni, henüz keşfedilmemiş elementler olmaları gerektiği sonucuna vardı.

Diğer fizikçiler bir hata yaptığını düşünseler de Pierre onunla aynı fikirdeydi. Her iki Curie de ellerinde, en azından bir tane yeni elementin varlığını ispatlamaya yetecek kanıt bulunduğuna inanıyorlardı. "Konuştuğumuz fizikçiler deneyde bir hata yaptığımızı düşünüyor, bize dikkatli olmamızı öğütlüyorlar. Ama ben yanılmadığıma eminim." diye yazıyordu Marie. Başka fizikçiler böyle bir öğüt vermek için Marie Curie'den, yani kayıt defterine deneylerinin sadece gününü değil tam saatini de yazan, çalıştığı soğuk ve kasvetli laboratuvarın sıcaklığını dahi çoğunlukla not eden bu büyük kadından daha titiz ve dikkatli başka birini bulamazlardı. Yanında onu deneyimi ve kavrama yeteneği ile tamamlayan Pierre de olunca, ulaştıkları sonuçların geçerliliğinden nasıl kuşku duyulabilirdi.

1898'de Marie ve Pierre Curie pekblend cevherinde olası yeni bir radyoaktif elementin var olabileceğini duyurarak, bu maddeyi yalıtmaya giriştiler. Marie doktora araştırmasının geri

kalanında, laboratuvar çalışmalarını konunun öneminin farkında olan Pierre'le beraber yürüttü. Pekblend cevherini kimyasal bileşenlerine ayırdıklarında, madendeki yüksek radyoaktivite düzeyinin kaynağı olabilecek bir değil iki yeni element buldular. Bunların ilki Marie'nin sevgili Polonyasına ithafen isimlendirilen **polonyum**du. Curielerin sonradan **radyum** diye adlandırdıkları ve polonyumdan bile daha radyoaktif olan ikinci elementin yalıtılması ise zorlu bir çalışma gerektirdi ve dört yıl sürdü.

Pekblendde eser miktarda (ağırlığa göre milyonda bir) radyum vardı. Bunu cevherden ayırabilmek için ise inanılmaz miktarda pekblend gerekiyordu. Zaten mali sorunlarla boğuşmakta olan Curielerin, Pierre'in yetersiz maaşıyla bakmak zorunda oldukları kendilerinden başka bir de çocukları vardı. Piyasadaki uranyum kaynağı pekblend pahalıydı; Pierre ise çalıştığı araştırma enstitüsünden gerekli parayı temin edemiyordu. Bu arada Marie'nin aklına bir fikir geldi: İçlerindeki uranyum endüstriyel olarak çıkarılmış pekblend artıklarından hem radyum, hem de polonyum elde edebilirlerdi. Endüstri tarafından atık muamelesi gören bu artıklar ucuza bulunabiliyordu: Yeni elementler için en uygun kaynak buydu.

Marie ve Pierre parasını kendileri ödeyerek, Bohemya'daki madenlerden Paris'teki laboratuvarlarına bir ton pekblend artığı getirttiler. Polonyumu ve radyumu arıtma işini yapabilecekleri daha büyük bir laboratuvar isteğinde bulundular ama geri çevrildiler. Bunun yerine, laboratuvarlarının yanındaki terk edilmiş bir barakayı kullanmalarına izin verildi. Damı akan, toprak tabanlı, içinde doğru dürüst hiçbir bilimsel donanım olmayan bu baraka, tarihteki en kahramanca bilimsel çabalardan birine ev sahipliği yaptı. Böylesine zayıf donanım ve yetersiz kaynakla Nobel Ödüllü araştırma çıkaran laboratuvar herhalde pek azdır.

Curieler mali sorunlarla dolu bir hayat yaşıyor ve çok kötü koşullar altında çalışıyorlardı, ama yine de 1902'ye gelindiğinde bir ton pekblendden gramın onda biri kadar saf radyum klorür

yalıtmayı başarmışlardı. Marie ve Pierre radyumun gerçekten de yeni bir element olduğunu kuşkuya yer bırakmayacak biçimde kanıtladılar. Konuya hâlâ kuşkuyla yaklaşan fizikçiler de sonunda Curielerin büyük bir buluş yaptığını kabul ettiler.

Radyumu yalıtmaya çalıştıkları dönemde Marie ve Pierre zaman zaman gecenin ortasında, keşfettikleri radyumun mavimsi ışıltısını seyretmek için aşağıdaki barakalarına inerlerdi. O dönemde çektikleri onca zorluğa rağmen, Marie sonradan şöyle diyordu: "Bu zavallı eski kulübede, kendimizi çalışmaya adamış halde, hayatımızın en güzel ve mutlu günlerini geçirdik. Bazen bütün bir günü, kaynayan bir kütleyi neredeyse boyum kadar büyük bir demir çubukla karıştırarak geçirir, akşam yorgunluktan çökmüş halde olurdum."

1903'te Marie doktora tezini sundu. Hemen ardından da Marie ve Pierre Curie Nobel Fizik Ödülü'nü aldılar. Her ne kadar radyoaktivite çalışmaları Curielerin ortak girişimi olup ikisinin de hakkını vermek gerekse de, özellikle Marie'nin başarısı olağanüstüydü. Yalnızca bir bilim kadını -o günlerde ender rastlanan bir şey- olmakla kalmamış, doktora çalışmalarından bir de Nobel Ödülü kazanmıştı. Bu ödülü alan ilk kadındı. Sekiz yıl sonraysa, polonyum ve radyumun yalıtılması ve özellikleri üzerine yaptığı araştırmayla bu kez kimya dalında ikinci Nobel Ödülü'nü kazanacaktı. İkinci ödülünü tek başına aldı; çünkü eşi 1906'da feci bir kazada, bir at arabasının arka tekerleklerinden birinin kafatasını parçalamasıyla ölmüştü.

Pierre Curie defalarca donanımlı bir laboratuvar kurabilmek için mali destek ve profesörlük başvurularında bulunmuş, ama hep geri çevrilmişti. Curielerin önde gelen bilimciler olarak çoktan tanındığı bir dönemde, Pierre İngiltere'de bir kuşsütünün eksik olduğu bir akşam yemeğine katılmış ve gözü oradaki bazı zengin kadınların pahalı mücevherlerine takılmıştı. Rivayete göre, o akşamın önemli bir bölümünü o gerdanlıkların ve yüzüklerin parasıyla kaç tane laboratuvar satın alabileceğini hesaplamakla geçirmişti.

Marie ve Pierre Curie yalnızca çok zeki ve kendilerini işlerine adamış bilimciler değil aynı zamanda yüksek ahlaki değerlere sahip kişilerdi. Kısa zaman içinde bir endüstri dalı haline gelen radyum yalıtma sürecinde kullandıkları yöntemin patentini alarak kolayca bir servet yapabilecekken, isteyen her kişiye ve şirkete ellerindeki bilgileri hiç sakınmadan verdiler. Marie şöyle diyordu: "Eğer buluşumuzun gelecekte ticari bir piyasası olacaksa bu asla üstünden kazanç sağlamamamız gereken bir rastlantıdır. Ayrıca, radyum hastalıkları iyileştirmede kullanılacak... Bundan çıkar beklemek bizim için mümkün değil." Pierre de ona katılarak "Bu bilimin ruhuna aykırı düşer." diye ekliyordu. Ünden de kaçınıyorlardı; öyle ki 1903'teki Nobel Ödül törenine bile katılmamışlar, Stockholm'deki törenin düzenleyicilerine bir mektup yazarak öğretmenlik işiyle çok meşgul olduklarını bildirmişlerdi. Törende yapacakları konuşmayı da bir sonraki yıla ertelediler.

Bütün güçlüklere rağmen Curieler ellerindeki yetersiz araştırma koşullarıyla yetindiler ve sonunda azimlerinin karşılığını aldılar. Artık Nobel kazanmış bir bilim adamı olarak Pierre, 1904'te Sorbonne'da fizik profesörlüğüne atandı ve kendisine hayat boyu düşlediği, gereğince donatılmış bir laboratuvar teklif edildi. Ne yazık ki ancak ölümünden sonra tamamlanabilen laboratuvarı görmeye Pierre'in ömrü yetmedi. Onun profesörlüğünü devralan Marie, böylece Sorbonne'da profesörlük verilen ilk kadın oldu.

Marie ve Pierre Curie de dahil radyumla çalışan birçok bilimci, kullanırken gerekli önlemler alınmadığı takdirde radyumun tehlikeli bir madde olabileceğini fark etmeye başlıyorlardı. Marie Curie büyük miktarda radyumla öyle çok çalışmıştı ki, iş yaşamı boyunca aşırı dozlarda radyoaktiviteye maruz kalmıştı. İleride Hiroşima ve Nagasaki'ye atılan atom bombalarının (Ağustos 1945) ve Çernobil'deki nükleer kazanın (Nisan 1986) kurbanlarında da korkunç biçimlerde görüleceği gibi, radyasyon hastalığı sonunda Marie'yi de pençesine düşürdü. Aldığı radyasyon sonucunda lösemiye yakalanarak 1934'te öldü. Ne

tuhaftır ki, radyoaktivitenin yararlarından biri de lösemi dahil kanserli urların tedavisinde kullanılması olacaktı.

Radyoaktivite çalışmalarında önemli bir başka adım da 1933'te Pierre ve Marie Curie'nin kızı Irène Joliot-Curie'yle (1897-1956) eşi Fransız fizikçi Frederic Joliot (1900-1958) tarafından atıldı. Radyoaktif olmayan elementlerin laboratuvar ortamında radyoaktif elementlere dönüştürülebileceğini ispatlayan ikili **yapay radyoaktiviteyi** keşfetti. Bu buluş bilim, tıp ve endüstri için paha biçilmez değeri olan, yüzlerce yeni radyoaktif madde üretilmesinin yolunu açtı. Örneğin yapay bir radyoaktif madde olan iyot-131 tiroit bezi hastalıklarının teşhisinde kullanılıyor; ölümcül anemi ise B-12 vitamininin kobalt-60'la işaretlenmesi (kobalt B-12 vitamininin moleküler yapısının bir parçasıdır) ve idrardaki kobalt-60 çıkışının izlenmesiyle teşhis edilebiliyor. Annesi gibi Irène de 1935'te eşi Frederic Joliot ile birlikte Nobel Fizik Ödülü'ne layık görüldü ve yine annesi gibi o da, laboratuvarda aşırı derecede radyoaktiviteye maruz kaldığı için kan kanserinden öldü.

Radyoaktif Bozunma

Marie Curie radyoaktivitenin atomun bir özelliği olduğunu ve atomun yapısına ilişkin önemli bir bilgi kaynağı olabileceğini düşünmekte haklıydı. Polonyumun ve radyumun keşfinin ardından, nihayet radyoaktivitenin atom çekirdeğinin çevresindeki elektronlarla ilgili olmadığı, çekirdeğin kendisinin bir özelliği olduğu anlaşıldı. O zamanlar maddeler arasındaki kimyasal tepkimelerde elektronların bir rol oynadığı düşünülüyor, ama atomun diğer parçaları ve bunların atom içerisindeki düzenleri hakkında pek az şey biliniyordu. Sonraki çalışmalar atomun hemen hemen bütün kütlesinin çekirdekte olduğunu, ancak çekirdeğin atomun hacminin son derece küçük bir parçasını (sadece yüz trilyonda birini) oluşturduğunu ortaya çıkardı.

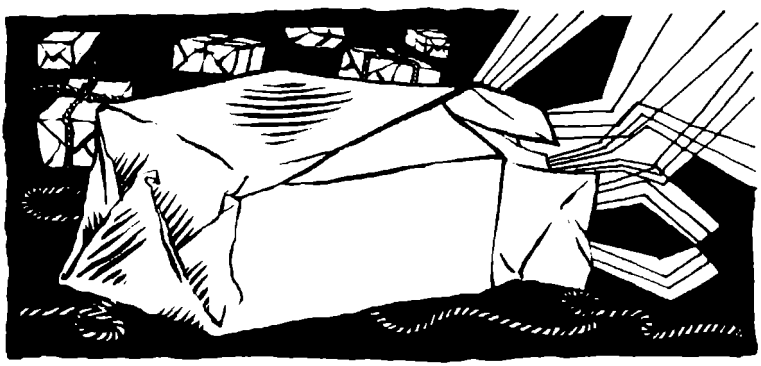
Radyoaktivite atom çekirdeğinin kararsızlığı durumunda oluşur: Çekirdek, radyoaktif bozunmaya uğrayarak daha karar-

lı hale gelir. Bir elementin kimliği çekirdeği tarafından belirlendiği için, radyoaktivite bir elementin bir başka elemente dönüştüğü süreç olarak da tanımlanabilir. Örneğin bir uranyum atomunun çekirdeği kararsız olduğundan, uranyum bozunarak toryuma dönüşür. Toryumun çekirdeği de kararsızdır ve o da bozunarak protaktinyum adında bir başka elemente dönüşür. Elementlerin radyoaktif bozunma aracılığıyla, daha az kararlı çekirdekli elementlerden, daha çok kararlı çekirdekleri olan elementlere dönüşme süreci, sonunda radyoaktif olmayan (kararlı) bir element oluşana kadar sürer. Uranyumun radyoaktif olmayan bir kurşun türüne dönüşmesi on dört aşamada gerçekleşir; radyum ve polonyum da bu radyoaktif bozunma merdivenindeki ara basamaklardır.

Çekirdek radyoaktif bozunmaya uğradığında çeşitli ışınım veya parçacık türleri yayabilir. Yirminci yüzyılın başlarında gözlenen, uranyum ve ondan türeyen elementlerden yayılan üç ana ışınım türü vardır: **Alfa parçacıkları**, **beta parçacıkları** ve **gamma ışınları**. Alfa parçacıkları helyum çekirdeği olup görece ağırdırlar; daha ağır olan radyoaktif çekirdekten kopmuş parçacıklardır. Beta parçacıkları çekirdekte oluşan elektronlardır. Gamma ışınları ise yüksek enerjili elektromanyetik ışınımdır. Radyoaktivite atom çekirdeğinin incelenmesinde tutulacak yolu netleştirmiş, kararsız çekirdeklerden yayılanların incelenmesi maddenin yapısını daha bütüncül biçimde kavrayabilmemizi sağlamıştır.

V. Bölüm

Işık Paketleri



Radyoaktivite fizikçilerin çoğunda şaşkınlık yaratmıştı. Radyoaktif atomlardan görünüşte sonu gelmez bir biçimde yayılan ışınım enerjisi, yaygın biçimde kabul gören "enerji yokken var, varken yok edilemez" ilkesine ters düşüyordu. Radyoaktif maddelerin dışarı verdiği bütün bu enerji nereden geliyordu. (Bu bilmecenin çözümü sonunda kütlenin enerjiye dönüştürülebileceğini ispat eden Albert Einstein'dan (1879-1955) geldi (VI. Bölüm). Radyoaktif bozunma esnasında atom çekirdeğindeki maddenin çok küçük bir parçası, çok büyük miktarda enerjiye dönüşerek ışınım halinde dışarı verilir.)

Radyoaktivite bilmecesinin parçalarının hâlâ eksik olmasına rağmen on dokuzuncu yüzyıl sonlarında yaşayan birçok fizikçi, fiziksel dünyaya ilişkin hemen hemen tam bir kavrayışa ulaştıklarını düşünüyorlardı. Özellikle de Maxwell'in elektro-

manyetik kuramı fizik için bir zafer olmuştu, çünkü ışıkla elektromanyetizmayı bir araya getirmiş ve pek çok olguyu açıklayabilmişti. Ayrıca, sonradan radyo dalgaları ve X ışınları olarak keşfedilen yeni ışın türlerinin varlığını da öngörmüştü. Maxwell'in kuramı ışığın elektromanyetik bir bozukluktan doğan sürekli dalgalardan oluştuğu biçimindeydi ve hemen hemen hiçbir fizikçinin bundan kuşkusu yoktu. Bu kuram ışığın çoğu özelliğini, özellikle de **kırınım** (köşe dönebilme yeteneği) ve **girişim** (ışığın iki bölüme ayrılıp sonra bu parçaların birbirini kuvvetlendirmek ya da gidermek üzere tekrar buluşma yeteneği) olgularını açıklıyordu. Sir Isaac Newton'un (1642-1727) ışığın çok küçük parçacıklardan ("tanecikler"den) oluştuğuna ilişkin kuramı tümüyle unutulup gitmiş gibiydi. Herkes ışığın parçacıklardan değil elektromanyetik dalgalardan oluştuğuna dair fikir birliği içindeydi. Elektromanyetik ışınıma ek olarak, bir atomlardan meydana gelen "madde" vardı, bir de henüz tam anlaşılmamış olan "kütleçekimi" kavramı. Newton cisimlerin nasıl hareket ettiğini matematiksel olarak açıklamış ve kütleçekiminin etkilerini açıklayan bir matematik denklemi üretmişti.

Yine de elektromanyetik ışınların ışığın dalga kuramıyla tam olarak açıklanamayan birden fazla özelliği vardı. Bunlardan biri, cisimlerin çok yüksek sıcaklıklarda tam olarak nasıl ışık yaydıkları, diğeri ise ışığın metallerden elektrik yayılmasına neden olduğu gözlemiydi. Bu olgular detaylı olarak incelendiğinde, ışığın dalgalardan oluştuğu fikriyle çeliştikleri ortaya çıktı ve ışığın parçacık kuramı tekrar gündeme geldi. Bu dönem on sekizinci ve on dokuzuncu yüzyılların **klasik fiziğinden**, yirminci yüzyılın **kuantum fiziğine** geçiş süreci oldu.

Kuantum fiziğinin temelini atan kişi Berlin Üniversitesi'nde profesör olan Alman kuramsal fizikçi Max Planck'tı (1858-1947). Kuramı devrim yaratacak nitelikte olmasına rağmen, beş yıl kadar hiç kimse tarafından dikkate alınmadı. Sonra tüm zamanların en büyük bilim adamlarından biri olan Albert Einstein,

Planck'ın fikirlerinin önemini ortaya çıkardı. O zamandan beri de ne fizik, ne de içinde yaşadığımız evreni kavrayışımız eskisine benziyor.

Işığın parçacık kuramının yeniden canlanmasının nedenini anlayabilmek için, bunun sorumlusu durumundaki iki olgu hakkında yani fotoelektrik etki ve kara cisim ışınımı hakkında biraz bilgi sahibi olmamız gerekiyor.

Fotoelektrik Etki

Hertz 1887'de Maxwell'in öngördüğü radyo dalgalarını keşfetmesine yol açan ve dolayısıyla ışığın elektromanyetik dalga kuramını açıkça doğrulayan deneyleri üzerinde çalışırken (II. Bölüm) sonradan Maxwell'in kuramıyla çeliştiği anlaşılan bir başka olgu daha keşfetti. Yaptığı ilk radyo alıcı verici aygıtta, ilk kıvılcım aralığından çıkan ışık (II. Bölüm, Şekil 5) ikincil kıvılcım aralığında (alıcıda) oluşan kıvılcımı güçlendiriyordu. Gerçekten de ikincil aralığa doğrudan bir lamba tuttuğunda, kıvılcımlar daha da güçlü olmaya başladı. Işık her nasılsa, ikincil kıvılcım aralığından geçen elektrik akımını etkiliyordu.

Bir yıl sonra Alman fizikçi Wilhelm Hallwachs (1859-1922) morötesi ışığın eksi yüklü bir çinko levhanın yüksüz (nötr) hale gelmesine neden olduğunu, ama artı yüklü çinko levhalarda böyle bir etki yaratmadığını keşfetti. Bu gözlem ve Hertz'in gözlemi, Britanyalı fizikçi Sir John Thomson'ın (1856-1940) ve Alman fizikçi Philipp Lenard'ın (1862-1947) ışığın metal yüzeylerden elektron fışkırmasına neden olduğunu göstermeleriyle açıklık kazandı. Hertz'in deneylerinde, ışık ikincil kıvılcım aralığındaki metal kutuplardan elektron yayılmasına ve böylelikle radyo dalgalarınca yaratılan kıvılcımlara ek olarak fazladan kıvılcım üretimine yol açıyordu. Hallwachs'ın deneylerindeyse ışık eksi yüklü çinko levhadan dışarı -yine eksi yüklü olan- elektron verilmesini sağlıyor, böylece levhayı yüksüz hale getiriyordu. Metal yüzeylerden ışığa bağlı olarak elektron yayılması süreci **fotoelektrik etki** olarak bilinir.

Fotoelektrik etki yirminci yüzyılın başlarında kuramsal fizikte çok önemli bir rol oynamakla kalmadı, birçok uygulama alanı da yarattı. Televizyon, fotometre, hırsız alarmı, kendiliğinden açılıp kapanan kapılar, elektronik anahtarlar ve güneş enerjili araçlar ışığın elektriğe dönüştürülmesiyle işleyen aletlerden bazılarıdır.

Maxwell'in oluşturduğu ışığın dalga kuramına göre, metal yüzeye düşen ışık güçlendirildiğinde, yüzeyden daha yüksek hızlara sahip (yüksek enerjili) elektronların yayılması beklenir. Işığın şiddetinin sabit tutulması koşuluyla frekansının değiştirilmesinin, yayılan elektronların enerjisi üzerinde hiçbir etki yaratmaması gerekir. Philipp Lenard bu varsayımı denemek için düşen ışığın hem şiddetini hem de frekansını değiştirerek, fotoelektrik etki esnasında elektron çıkışında oluşan etkiyi inceledi.

Lenard hayretler içinde fark etti ki, Maxwell'in ışığın dalga kuramından beklenenin tam tersine, ışığın şiddetini artırmak çıkan elektronların enerjisini etkilemiyordu. Işığın şiddeti arttıkça, metal yüzeyden yayılan elektronların enerjisi değil *sayısı* artıyordu. Ama ışığın frekansının, elektronların enerjisi üzerinde bir etkisi vardı. Yüksek frekanslarda yayılan elektronların tümünün enerjisi birbirine eşitti; ışığın frekansını düşürüp şiddetini aynı tutmak ise aynı sayıda, ama daha düşük enerjili elektron yayılmasıyla sonuçlanıyordu.

Işığın uzayda kesintisiz dalgalar halinde yol aldığı şeklindeki yaygın düşünceyle tamamen çelişkili olan bu tuhaf sonuç, uzun yıllar bir bilmece olarak kaldı. Fotoelektrik etkinin açıklaması yapılabildiğinde, bu bilmeceyi çözenler iki kuramsal fizikçi, Max Planck ve Albert Einstein oldu ve fizikte yeni bir çağ başladı.

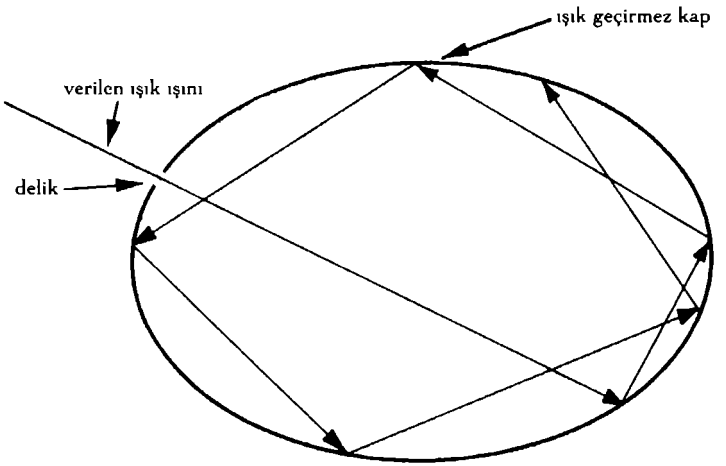
Kara Cisim Işınımı

On dokuzuncu yüzyıl fizikçilerinin ışığın uzayda yol alan dalgalar olduğuna ilişkin fikirleriyle çelişir gibi görünen bir dizi başka deney sonucu ise **kara cisim ışınımı** çalışmalarıyla ilgiliydi. Kara cisim, frekansı ne olursa olsun kendine çarpan bü-

tün elektromanyetik ışınımı soğuran ve sonra yüksek sıcaklıklarda tüm bu ışınımı salan cisme denir. Çoğumuz biliriz ki, bir cisim ısıtıldığında yalnızca daha sıcak hale gelmekle kalmaz; rengi önce kırmızıya, sonra turuncu ve sarıdan geçerek beyaza dönüşür. Yıldızlar da sıcaklıkları arttıkça kırmızıdan başlayarak sarı, beyaz ve mavi renkte parlarlar. Bunu şöyle de söyleyebiliriz: Bir cisim ısıtıldıkça, yayılan ışığın frekansı da artar. Kara cisimler hakkındaki bilgiler, yaydıkları ışığın frekansına dayanarak yıldızların (Güneş de dahil) sıcaklıklarını belirleyebilmemizi sağlamıştır. Örneğin Güneş'ten yayılan ışığın şiddeti ve frekansı 6000 santigrat derecedeki bir kara cisimden yayılması beklenen ışık değeriyle aynıdır. Bu, Güneş'in yüzey sıcaklığının da 6000 santigrat derece olduğunu gösterir. Kara cisim üzerine edinilen bilgiler, evrenin Büyük Patlama ile başladığına ilişkin kanıtların (VII. Bölüm) yorumlanmasında da etkili olmuştur. Evren ilk başta bir kara cisim gibi davranıyordu; nitekim kozmik mikrodalga fon ışınımı da, evrenin ilk dönemlerinden kalmış olması gereken kara cisim ışınımı ile aynı frekansa ve sıcaklığa sahiptir.

Gerçek bir kara cisim bulmak kolay değildi, ama Alman fizikçi Wilhelm Wien (1864-1928) kara cisme çok benzer bir aygıt geliştirdi. Duvarında küçük bir delik açılmış ışık geçirmez bir kabın kara cisim davranışı göstereceğini öne sürdü (Şekil 8). Böyle bir kabın deliğinden içeriye ışık verildiğinde, duvarların iç yüzeyi sonunda bütün ışığı soğuracaktır. Işığın delikten dışarı kaçma olasılığı çok düşüktür, dolayısıyla ışık önce yansısa bile duvarın başka noktalarına çarpacak ve sonunda soğurulacaktır. Başka bir deyişle, delikten giren ışığın tümü frekansı ve şiddeti ne olursa olsun soğurulacaktır: Aynen bir kara cisimden bekleneceği gibi. Kap ısıtıldığı zaman, soğurulan ışık duvarlardan geri verilir ve delikten yayılan ışınım da kara cisim ışınımı olarak incelenebilir.

On dokuzuncu yüzyılın ortalarında Alman fizikçi Gustav Kirchhoff (1824-1887) belli maddelerin belirli bir frekanstaki



Şekil 8. Kara cisim olarak kullanılan model. Wilhelm Wien duvarında küçük bir delik olan bir kabın bir kara cisim gibi davranacağını öne sürdü. Delikten içeri giren ışık, iç duvarlar tarafından soğuruluyor. Önce duvarlardan yansısa bile, başka noktalara çarparak sonunda mutlaka soğuruluyor; çünkü delikten dışarı kaçma olasılığı yok denecek kadar düşük. Ardından kap ısıtıldığında delikten yayılan kara cisim ışınımının frekansı ve enerjisi değişik sıcaklıklarda ölçülebiliyor.

ışığı soğurduklarını ispatlamıştı. Örneğin sodyum sarı ışığı, potasyum ise mor ışığı soğuruyordu. Ayrıca bu maddeler ısıtıldıklarında yaydıkları ışığın, soğurdukları ışıkla aynı frekansta olduğunu keşfetmişti. Yani sodyum ısıtıldığında sarı, potasyum ısıtıldığında mor ışık veriyordu. Dolayısıyla bir kara cismin de ısıtıldığı zaman her frekansta ışık yayması gerekirdi.

Wien'in özellikle ilgisini çeken şey, kara cisim ısıtıldığında ışık enerjisi ve frekansının tam olarak nasıl yayıldığıydı. Belirli bir sıcaklıkta kara cisimden yayılan elektromanyetik ışınımın herhangi bir frekansta değil belirli bir frekansta olduğunu keşfetti. Karacismin sıcaklığı yükseltildiğinde tüm frekanslarda daha çok ışık enerjisi yayılıyor, ama yine de belirli bir frekans baskın çıkıyordu ve bu baskın frekans daha düşük sıcaklıkta baskın olan frekanstan daha yüksekti.

Wien elde ettiği sonuçları açıklayabilmek için matematiksel bir formül geliştirdi. Ama bu formül, değişik sıcaklıklarda kara

cisimden yayılan yüksek frekanslı ışıkla elde ettiği sonuçları açıklasa da, düşük frekanslı ışınımla elde ettiği sonuçları açıklamıyordu. Düşük frekans verilerini yorumlayan bir matematik denklemi daha vardı, ama bu denklem de yüksek frekans verilerini açıklamaya yetmiyordu.

Bir başka deyişle, elde her biri deneysel verilerin yalnızca yarısını açıklayan iki matematiksel denklem vardı. Gerekli olansa, bu formülleri uygun bir biçimde bağdaştırarak hem yüksek hem de düşük frekanslı ışınım verilerini toptan açıklayabilen bir denklem üretmekti.

Max Planck ve Kuantum Fiziği

Max Planck kara cisim ışınımı konusuyla çok ilgiliydi. Eldeki verileri yalnızca yarı yarıya açıklayan iki denklemden, gerekli tek matematiksel denklemi çıkarabilecek müthiş bir kavrayışa da sahipti. Planck denkleme ne kuramsal ne de deneysel yoldan vardı, sadece bir "tahminde" bulundu. Fakat bu, Planck'ın parlak zekâsını yok saymak anlamına gelmemeli: Söz konusu tahmin, arkasında büyük bir dâhinin aklı olmasa asla ortaya çıkmayacak bir tahmindi.

Yine de Planck yeni bir denklemi yalnızca tahmin etmenin yeterli olmadığını, başka bilim adamlarını da geçerliliğine inandırabilmek için bu yeni denklemi kuramsal olarak, temel esaslarından başlayarak oluşturması gerektiğini biliyordu. İşe koyulduğunda şunu fark etti: Doğru denkleme ulaşabilmek için mantıklı tek yol, ışığın bir kara cisim tarafından sürekli dalgalar halinde değil küçük "paketler" halinde soğurulup yayıldığını kabul etmekti. Bu ışık enerjisi paketçiklerine "**kuanta**" (tekili "**kuantum**") adını verdi. Böylece 1900 yılında kuantum fiziği doğdu.

Planck'a göre kara cisimler ışığı kuanta adını verdiği küçük paketçikler halinde soğuruyor ve salıyorlardı. Sonradan Einstein Planck'ın açıklamasını, birayı kesintisiz bir akışla değil yalnızca bardaklar halinde servis yapan bir bira fıçısına benzetmiş-

ti. Bu benzetmede bira fıçısının musluğu kara cisme denk düşüyor, bira soğurulan ve salınan ışınım oluyor, bardaklık porsiyonlar da kuantayı simgeliyordu: Musluk, yalnızca bardaklık porsiyonların akışına izin veriyordu.

Kara cisim ışınımına bir açıklama getirdiği açıkça görülmesine rağmen, Planck'ın kuramı fizikçiler tarafından beş yıl büyük oranda ihmal edildi. Bu olay, zamanının çok ilerisinde olan çığır açıcı bilimsel atılımların, kendi dönemlerinin yerleşik kuramlarına gömülmüş bilim adamlarınca göz ardı edilmesine bir örnektir. Ama kuantum fiziği 1905'te, bir üniversite görevlisi bile olmayan, İsviçre'nin Bern kentindeki İsviçre Patent Bürosu'nda memur olarak çalışan bir kuramsal fizikçinin çalışmaları sayesinde birden fiziğin ön saflarına geçti. Büyük olasılıkla bu gezegenin gördüğü en büyük bilim adamı olan bu fizikçi, fizikte en az kendinden iki yüzyıl önce Sir Isaac Newton'un yaptığı kadar büyük bir devrim yaptı. İsmi Albert Einstein'dı.

Einstein ve Fotonlar

1905'te Albert Einstein seçkin bilim dergilerinde dört kuramsal makale yayımladı. Bunlardan ikisi oluşturduğu görelilik kuramı ile ilgiliydi (VI. Bölüm). Bir diğeri **Brown hareketi**, yani havada veya bir sıvıda asılı duran mikroskobik parçacıkların gelişigüzel ve sürekli hareketleri üzerineydi. Dördüncü makale ise fotoelektrik etki konusunda bir açıklama öneriyordu ki, uzun zamandır kendi haline terk edilmiş ışığın parçacık kuramını ve Planck'ın fikirlerini tekrar bilim sahnesine çıkaran da işte bu makale oldu. Aslında Einstein'ın 1905 tarihli dört makalesinden herhangi birinin onu ünlü bir bilim adamı yapmaya yetecek güçte olduğu söylenir. Çoğumuz onu görelilik kuramından dolayı hatırlasak da, 1921'de Nobel Fizik Ödülü'nü fotoelektrik etki üzerine yaptığı kuramsal çalışmalar nedeniyle almıştır.

Einstein ışığın dalga kuramının fotoelektrik etkiyi açıklayamadığının farkındaydı. "Işık enerjisinin, içinde yol aldığı uzayda kesintisiz olarak yayıldığına ilişkin genel kanı, özellikle foto-

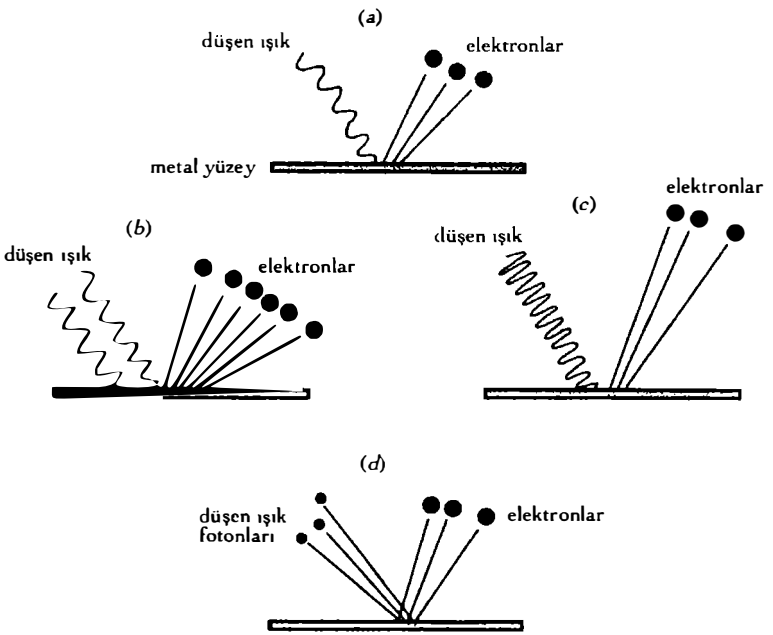
elektrik olayı açıklamaya kalkıştığımızda yetersiz kalıyor." diyordu. Planck'ın kara cisim ışınımı açıklamasına, yani ışığın enerji kuantası halinde soğurulup salındığı fikrine yabancı değildi; fotoelektrik etki probleminin çözümü için de, işte bu fikre başvurdu.

Einstein'a göre çözüm, aynen Planck'ın ışığın kara cisimler tarafından kuanta halinde soğurulup salındığını düşünmesi gibi, ışığın parçacıklardan -yani kuantadan- oluştuğunu düşünmekti. Daha sonra kuanta sözcüğü yerine Yunanca "ışık" anlamına gelen *photon* (**foton**) sözcüğü kullanılmaya başlandı. Ne var ki, Planck ışık paketçiklerinin kara cisimlerce soğurulup salınmasının cisimlerin kendi özelliklerine bağlı olduğunu düşünüyorken, Einstein kara cisimlerin özelliklerinin konuyla ilgisi olmadığını ve ışığın (cisimlerce soğurulup salınmasından bağımsız olarak) her koşulda parçacıklardan oluştuğunu ileri sürüyordu. Eğer Planck'ın modelini, biranın fıçıdan bardaklık porsiyonlar halinde çıkması şeklinde düşünürsek, Einstein'ın kuramında bira, daha musluğa gelmeden önce fıçı içerisinde bardaklık porsiyonlar halinde hazır bulunuyordu.

Einstein'a göre, bir metal yüzeyin içine giren her ışık fotonu metaldeki bir elektronla çarpışıyor ve kendi enerjisini elektrona aktarıyordu. Eğer belirli bir fotondan aktarılan enerji miktarı yeterince yüksekse, elektron metalin yüzeyine çıkıp dışarı fırlıyor, dolayısıyla fotoelektrik etkiyi yaratıyordu (Şekil 9).

Einstein ışığın şiddetinin artırılmasının, verili bir süre içinde metalin yüzeyine daha fazla sayıda ancak hep verili bir frekansta fotonun çıkması anlamına geldiğini düşünüyordu. Dolayısıyla ışık şiddetindeki artışın daha çok sayıda elektron salınmasına neden olması ve bu elektronların enerjilerinin aynı kalması gerekir. Gerçekten de tam böyle olur. Einstein ayrıca ışığın frekansını artırmanın, fotonlardan elektronlara aktarılan enerjiyi artırdığını, ama salınan elektron sayısını etkilemediğini de göstermiştir. Fotoelektrik etkinin işleyişi de zaten tam olarak böyledir.

Einstein 1905'te makalesini yayımladığında, ışığın şiddetinin ve frekansının fotoelektrik etki sırasında salınan elektronlara etkisini kesin olarak ölçmek henüz mümkün değildi. Buna rağmen Einstein yaptığı matematiksel çözümlemeyle, alınacak sonucu önceden tam olarak bilmişti. Bu, Einstein'ın kuramının sınanmasıydı. Eğer henüz elde edilmemiş birtakım bilimsel sonuçlar bir kuram tarafından doğru olarak öngörülebiliyorsa, bilim adamları artık o kurama güvenebilirler. 1916'da Amerikalı fizikçi Robert A. Millikan (1868-1953) fotoelektrik etkiyle ilgili deneyleri kusursuz biçimde yaptı. Elde ettiği veriler Einste-



Şekil 9. Fotoelektrik etki, metal bir yüzeye ışık düşmesi sonucunda yüzeyden dışarı elektron salınmasıyla oluşur (*a*). Düşen ışığın şiddeti artılırsa, daha çok sayıda elektron salınır (*b*). Düşen ışığın frekansı artılırsa, aynı sayıda ama daha yüksek enerjili elektronlar salınır (*c*). Bu sonuçlar klasik ışığın dalga kuramıyla açıklanamadığından, Einstein ışığın parçacıklardan (fotonlardan) oluşuyormuş gibi düşünülebileceğini ve her fotonun bir elektronla çarpışıp o elektronu metal yüzeyden dışarı fırlattığını öne sürdü (*d*). Işığın şiddetini artırmak foton sayısını (ve dolayısıyla salınan elektron sayısını da) artırırken, ışığın frekansını yükseltmek her fotonun enerjisini çoğaltır, aynı sayıda ama daha yüksek enerjili elektronların salınmasına neden olur.

in'ın öngörüleriyle tamamen uyuşuyordu. Işık gerçekten de fotonlardan oluşuyora benziyordu.

Nasıl ışığın dalga kuramı kara cisim ışınımını ve fotoelektrik etkiyi açıklayamıyorsa, foton düşüncesi de girişimi ve kırınımı kolayca açıklayamıyordu. Zaten girişim ve kırınım, yıllar boyu dalga kuramını desteklemekte kullanılmıştı. Einstein da foton fikrinin bu iki olguyu açıklamada yetersiz kaldığının farkındaydı. Günümüzde, çok çok küçük ölçekler söz konusu olduğunda dünyaya gündelik bakışımızın geçerli olması gerekmediğini ve ışığın hem parçacık hem de dalga olduğunu kabul ediyoruz. Bu durum dalga-parçacık ikiliği olarak bilinir ve elektromanyetik ışınımın bütün biçimleri için geçerlidir.

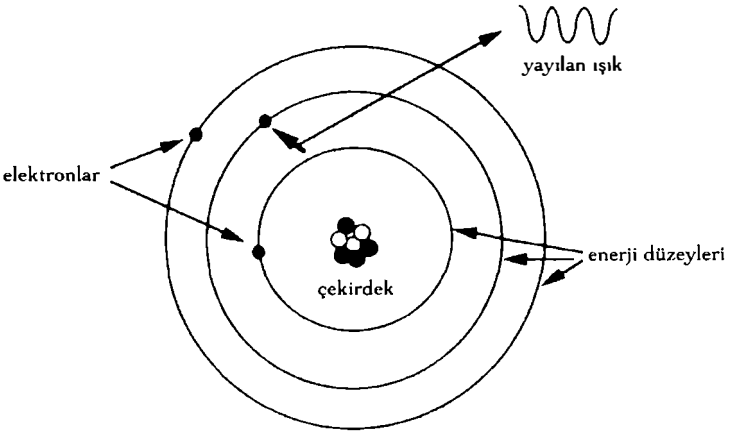
Fotonlarınki kadar küçük ölçeklere indiğimizde, ışığın hem dalga hem parçacık özelliklerini belirleyebiliriz. Işık girişime veya kırınıma uğradığında dalga olarak düşünülebilir. Fotoelektrik etki ve kara cisim ışınımı olgularında ise parçacıklardan oluştuğu şeklinde ele alınabilir. Britanyalı fizikçi Sir William Henry Bragg (1862-1942) bunu basitçe şöyle dile getirmiştir: "Pazartesi, çarşamba ve cuma günleri ışık bir dalgaymış gibi davranır, salı, perşembe ve cumartesi günleri parçacıkmış gibi; pazar günleri ise hiçbir şeye öykünmez."

Işığın dalga-parçacık doğası yalnızca elektromanyetik dalgaların parçacık gibi davranabildiğini değil parçacıkların da dalga gibi davranabileceğini öne süren Fransız fizikçi Prens Louis de Broglie (1892-1987) tarafından maddeyi de kapsayacak şekilde genişletildi. De Broglie'ye göre her ne kadar göz ardı edilecek denli önemsiz olsalar ve parçacık özellikleri baskın olsa da, bir insan ve bir gezegen kadar büyük cisimlerin bile bazı dalgasal özellikleri vardı. Ancak elektronlar çok küçük parçacıklardır, de Broglie'nin kuramı da elektronların tespit edilebilir birtakım dalga özellikleri taşıması gerektiğini öne sürüyordu. Sonradan, elektronların da kırınım ve girişim olgularını sergiledikleri ortaya çıkarılıp dalga boyları ölçülebildiğinde, de Broglie'nin fikirleri doğrulanmış oldu. Gerçekten de elektronların dalgasal özel-

likleri, küçük cisimlerin ışık demeti yerine elektron demeti kullanılarak görülebilmesini sağlayan **elektron mikroskoplarının** geliştirilmesinde özellikle yararlı oldu. Elektron mikroskopları görünür ışığı kullanan mikroskoplardan kat kat güçlüdür ve özellikle optik mikroskoplarla görülmesi zor olan virüslerin ve canlı hücrelerin içlerinin görüntülerinin elde edilmesinde benzersizdirler.

Planck'ın ışığın kara cisimlerce soğuruluşuna ve salınışına ilişkin kuramının Einstein tarafından yeniden canlandırılmasının ardından, Danimarkalı bilim adamı Niels Bohr (1885-1962) kuantum fikrini kullanarak atomun yapısı için yeni bir model öne sürdü (Şekil 10). Bohr belirli bir elementin atomlarının ışığı neden belli frekanslarda soğurup saldığını açıkladı. Önerdiği atom modelinde, eksi yüklü elektronlar artı yüklü bir çekirdeğin çevresindedir. Fakat çekirdeğin çevresinde herhangi bir yerde bulunamazlar: **Enerji düzeyleri** denilen, tanımlı enerji hallerinde olmak zorundadırlar. Bir atom ışığı soğurduğunda, ışık enerjisi bir elektrona aktarılır ve bu elektron daha yüksek bir enerji düzeyine "sıçrar". Ama bu yalnızca, ışık fotonunun enerjisi (ve dolayısıyla frekansı) elektronu daha düşük bir enerji düzeyinden daha yüksek bir enerji düzeyine geçirmeye yeterliyse gerçekleşebilir. Elektron iki enerji düzeyi arasında bir yere sıçrayamaz, ya bir düzeyde ya da diğerinde olmak zorundadır. Sonuç olarak atom, enerji paketçikleri (kuantası) soğurur. Aynı şekilde, atomun ışık enerjisi salması da bir elektronun yüksek enerji düzeyinden daha düşük bir enerji düzeyine sıçramasına bağlıdır. Ama sıçramalar yalnızca tanımlı biçimlerde olabileceğinden, salınan ışık enerjisinin de sınırlı değerlerde olması gerekir. Soğurulan ve salınan fotonlar, böylece belirli bir frekansta olurlar. Bohr'un atom modeli, elektronların enerji düzeylerinin belirli aralıklarda görüldüğünü ortaya çıkarmıştır.

Çok küçük şeyleri yani atomu, atomaltı parçacıkları ve elektromanyetik ışınımı anlamak için gerekli olan kuantum fiziği fizikte bir devrim yaratmıştır. Birçok fizikçi kuantum fiziğini bi-



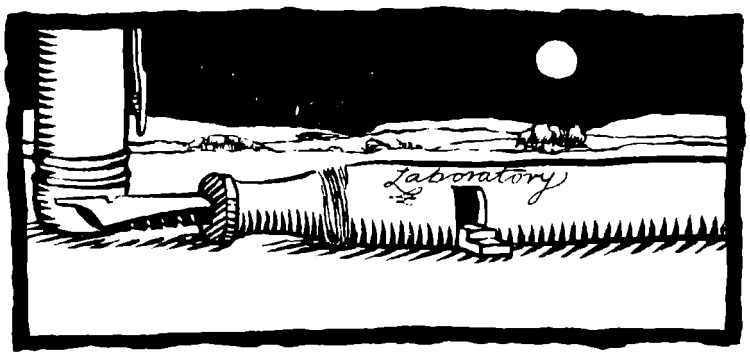
Şekil 10. Planck'ın kuantum kuramını temel alan Bohr'un atom modeli. Elektronlar atom çekirdeğinin çevresinde yalnızca belirli enerji düzeylerinde (burada ortak merkezli halkalar halinde gösteriliyor) yer alabilir, aradaki başka enerji düzeylerinde duramazlar. Bir elektron yüksek bir enerji düzeyinden daha düşük bir enerji düzeyine sıçradığında bir foton salınır. Bu fotonun frekansı iki enerji düzeyi arasındaki enerji farkıyla belirlenir. Deneysel gözlemlere dayanan bu modelde, elektronlar helezonik hareketlerle çekirdeğe doğru ilerlemezler; yüksek bir enerji düzeyinden daha düşük bir enerji düzeyine geçtiklerinde de yalnızca belirli frekanslarda ışık yayarlar.

lim adamlarının çok büyük ölçekleri anlayabilmesini sağlayan bir kuramla birlikte kullanarak evrenin başlangıcına ışık tutmaya uğraşıyor. Einstein'ın **görelilik kuramı** çok büyük şeyleri matematiksel olarak açıklayabilen bir kuramdır. Yirminci yüzyıl fiziğindeki en önemli iki gelişmeden ilki kuantum fiziği ise ikincisi de belki bu kuramdır.

Kuantum kuramının fizik üzerindeki çok büyük etkisini göz önüne alırsak, her şeyin aslında sadece kara cisimlerin elektromanyetik ışınımı soğurma ve salma biçiminin nedenini açıklayacak bir matematiksel denklem peşinde olan Max Planck'ın bir tahminiyle başlamış olması ve Albert Einstein'ın fotoelektrik etkiyi açıklama arayışıyla desteklenmiş olması gerçekten de olağanüstüdür.

VI. Bölüm

Dr. Einstein'ın Dolmakalemi



Einstein'ın ışığın parçacıklardan (yani fotonlardan) oluştuğu fikrini yeniden gündeme getiren fotoelektrik etki üzerine 1905 tarihli yayını, sonunda ona Nobel Fizik Ödülü'nü getirdi. Fakat kendisi asıl olarak ilki yine 1905'te yayımlanan görelilik kuramları ile ünlüdür. Görelilik kuramlarını geliştirmemiş olsaydı bile meslektaşlarınca bir fizikçi olarak yine büyük saygıyla karşılanacağına kuşku yoktur; çünkü fiziğe yaptığı diğer katkılar gerçekten de çok büyüktür. Einstein kadar büyük bir bilim adamının ortaya çıkması dünya tarihinde ender rastlanan bir olaydır: Kendisi yalnızca klasik fiziğin açıklayamadığı birçok akıl karıştırıcı soruya yanıt getirmekle kalmayıp, bizi çevreleyen dünya hakkındaki düşünme biçimimizi de kökten değiştirmiştir. Einstein'ın göreliliği, evrenin kökenine ilişkin çağdaş fikirlerin doğmasına da önayak olmuştur (VII.

Bölüm). Günümüzde yaşayan her fizikçi Einstein'ın çalışmalarının derinlemesine etkilediği bir eğitimden geçmiştir ve hiçbirinin Einstein'ın dünyanın gördüğü en büyük fizikçi olduğundan kuşkusu yoktur.

Yaşamı boyunca Einstein halk tarafından büyük saygı ve sevgi gören simgesel bir kişilik haline gelmişti. Bu, normalde bir bilim adamının bir hayli zor elde edebileceği bir konumdur. Bu denli sevilmesinin nedeni büyük olasılıkla hem sevecen, alçakgönüllü, bir idealistin politik ve ahlaki değerlerine sahip müthiş bir dâhi olarak görülmesi, hem de bilimsel fikirleriyle evrenin işleyişi üzerine derin bir kavrayış getirmiş olmasıydı. Atom bombasının geliştirilmesi de içinde olmak üzere çok sayıda politik konuyla da ilgilenmiş, kendisine önerilen İsrail Devlet Başkanlığı'nı reddetmişti.

Aynı Maxwell ve Planck gibi (II. ve V. Bölüm) Einstein da kuramsal bir fizikçiydi: Deneylerini zihninde yapıyordu. (Uygulamaya yönelik olarak yaptığı çok az şeyden biri, Macar fizikçi Szilard'la (1898-1964) birlikte evler için sessiz çalışan bir buzdolabı geliştirip patentini almak oldu.) İnsan bu gibi "düşünsel deneylerin" bilime ve teknolojiye ne kadar çok katkıda bulunduğunu düşündüğünde, saf düşüncenin ve onun matematiksel dışavurumunun insanlığın gelişiminde en az deneysel bilim kadar önemli olduğunu anlıyor. Bir keresinde kendisinden laboratuvarını göstermesi istendiğinde Einstein cebinden bir dolmakalem çıkarıp "İşte!" demişti. Bir başka sefer de bilimsel donanımının en önemli parçasının matematik hesaplarıyla dolu kâğıtlarının birçoğunu attığı çöp sepeti olduğunu söylemişti.

Bazı insanlar arasında Einstein'ın fiilen Newton'un hareket yasalarının yanlış olduğunu gösterdiği şeklinde bir yanlış anlama yaygındır. Hatta bazı bilim eleştirmenleri de bunun bilim adamlarının hepten yanılgıda olduklarının ve sürekli kendileriyle çeliştiklerinin kanıtı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Newton'un eylemsizlik yasası diye de bilinen birinci hareket yasası, bir cisim üzerine net bir kuvvet uygulanmadığı sürece ya hare-

ketsiz kalır ya da aynı yönde sabit hızla, düz bir çizgide ilerlemeye devam eder, der. İkinci yasa şöyle der: Bir cisim üzerine net bir kuvvet etkidiğinde ivme kazanır ve net kuvvet *(F)*, cismin kütlesinin *(m)* ivmesiyle *(a)* çarpımına eşittir, yani $F=ma$. Newton'un üçüncü hareket yasası ise şöyledir: Bir cisim başka bir cisim üzerine bir kuvvet uyguladığında, ikinci cisim de aynı kuvveti birincisi üzerinde, ama ters yönde uygular. Bu durum uzayda açıkça gözlemlenebilir: Bir astronot bir cismi bir yöne doğru fırlattığında, cisim de eşit ve zıt bir kuvvet uygulayarak astronotun ters yöne doğru itilmesine neden olur.

Bazı yaratılışçılar -bitki ve hayvan türlerinin evrimi fikrine karşı olanlar- Einstein'ın çalışmalarını, bir dönem kabul edilmiş "gerçeklerin" (bu örnekte Newton yasalarının) bazen sonradan tersyüz olabildiğinin kanıtı olarak bile kullanmışlardır. Gerçek şudur ki, Newton yasaları gündelik koşullarda gayet güzel işler, ayrıca fiziğe ve teknolojiye çok büyük yarar sağlamışlardır. Einstein'ın yaptığı, cisimler ışık hızına (saniyede 300.000 kilometre) yaklaştıklarında Newton'un hareket yasalarında değişiklik yapılması gerektiğini göstermekti. Günlük hayatta normalde karşılaştığımız, ışık hızının çok küçük bir kesiri olan hızlarda hareket eden cisimlerin davranışları öyledir ki, Einstein'ın ve Newton'un bunlara ilişkin tanımları aynılaşır. Einstein'ın yaptığı aslında Newton'un hareket yasalarını her hızda geçerli olabilecek şekilde biraz değiştirmekti: Zaten bilim de normalde, var olan fikirlerin üzerlerinde yapılan değişikliklerle ilerler.

Einstein fiziği tamamen değiştirmişti, özellikle de iki ana kuram içeren görelilik çalışmalarıyla. Bu iki kuram 1905'te yayımladığı özel görelilik kuramı ve 1916'da yayımladığı genel görelilik kuramıdır. Bunların tanımlanmasına geçmeden önce Einstein'ın fikirlerinin bilimsel bağlamı üzerine biraz bilgilenmek gerekir.

Einstein'dan Önce Fizik: Esir

Yirminci yüzyıl öncesinde, fizikte ışığın dalgalardan oluştuğu fikri baskınken, bilim adamları ışık dalgalarını içinde taşıyarak

yayılmasını sağlayan bir ortam olması gerektiğini düşünüyorlardı. Ne de olsa, su dalgaları su tarafından, ses dalgaları da havadaki moleküller tarafından (yani sesi ileten ortam her ne ise onun tarafından) taşınıyordu. Örneğin ses boşlukta yol alamaz, çünkü ortada sesi iletecek molekül yoktur. Dalgalar kendilerini taşıyacak bir madde olmadan yayılamaz diye düşünülüyordu; dolayısıyla ışığın da kendisini taşıyacak bir ortama gereksinimi vardı. Işık dalgalarının yayılmasını sağlayan ortama **esir** dendi. ("Esir" terimi Eski Yunanlıların yıldızları oluşturan elementi tanımlamak için kullandığı, "ışık saçmak" anlamına gelen sözcüğün yunanca karşılığından türetilmiştir.) Esirin ne olduğunu kimse tam olarak bilmiyordu, ama ışığın dalgalardan oluştuğu görüşünü kabul edebilmek için önce esirin varlığını kabul etmek gerekiyordu.

Işığın da sınırlı bir hızı vardır: Kaynağından çıkıp bir başka cisme ulaşması belirli bir zaman alır. Uzak yıldızlardan Dünya'ya ulaşan ışık öyle uzun bir yolculuk yapmıştır ki, bizim gördüğümüz ışık aslında bir yıldızı -uzaklığına bağlı olarak- binlerce, milyonlarca hatta milyarlarca yıl önce terk etmiş olan ışıktır. Tabii günlük olaylar çerçevesinde ışığın sınırlı bir hıza sahip olduğu fark edilemez: Işık o kadar hızlıdır ki birkaç metre ötedeki bir kaynaktan çıkıp gözümüze ulaşması saniyenin yalnızca milyarda biri kadar sürer. Bir odada ışık yakıldığında, ışığın ampulden gözümüze ulaşması için gereken saniyenin o çok küçük bölümü kadar sürenin farkına bile varmayız. Işığın hızını ölçmek için ilk girişim 1676'da Danimarkalı gökbilimci Ole Rømer (1644-1710) tarafından yapıldı. Daha sonraları yapılan daha da kesin ölçümlerle, ışığın gerçekten de belirli bir hızı olduğu açıklık kazandı. Maxwell'in ışığın dalgalardan oluştuğunu varsayan denklemlerine göre (III. Bölüm) ışığın cam ve su gibi daha yoğun saydam maddelerin içinde, havada olduğundan daha yavaş ilerlemesi gerekiyordu. Değişik malzemelerden geçirilen ışığın hızının ölçüldüğü deneyler de bunu doğruladı. Örneğin ışık bir cam kütleye girdiğinde, büyük ölçüde iletimi sırasın-

da camdaki atomlar tarafından soğurulup salınmasının zaman alması nedeniyle, hızı yaklaşık üçte bir oranında azalıp saniyede 200.000 kilometreye iner.

Işığın özellikleri giderek daha detaylı olarak ortaya çıkarıldıkça yapılan hesaplar, esirin içinden ışık geçtiğinde titreşen, sert bir katı madde olması gerektiğini gösterdi. Hiç kimse esiri göremediğine ve varlığını saptayamadığına göre, bu maddenin sert olduğu kadar son derece ince de olması ve her yerde, hatta ışık boşlukta da yol alabildiğine göre boşlukta bile var olması gerekiyordu. Gayet açıktı ki eğer esir gerçekten varsa, önceden bilinenlerle karşılaştırıldığında yepyeni bir tür "madde" olmalıydı.

Ne olursa olsun, eğer esir diye bir şey varsa bunu saptayabilecek deneyler düzenlemek de mümkün olmalıydı. Gerçekten de 1887'de ABD'li iki bilim adamı, Albert Michelson (1852-1931) ve Edward Morley (1838-1923) esiri saptayabilmek için çok hassas bir deney gerçekleştirdiler. Şöyle akıl yürütüyorlardı: Dünya madem ki hareket ediyor, o zaman durağan olan esirin içerisinde bir yüzücünün sudaki hareketine benzer biçimde hareket etmesi beklenir. Dolayısıyla Dünya'nın çevresinden "akıp geçtiği" varsayılan esirin yarattığı bir "esir basıncı" meydana gelecektir. Dahası, Dünya bir yandan Güneş'in çevresinde eliptik bir yörünge üzerinde yol alırken bir yandan da kendi ekseni çevresinde döndüğü için, esir içerisindeki hareket yönü farklı zamanlarda değişecek, bu yüzden de Dünya'nın belirli bir noktası üzerindeki "esir basıncı"nın yönü, Dünya'nın hareketine bağlı olarak değişecektir. Işığın hızı Dünya üstündeki bir noktadan (örneğin bir fizik laboratuvarından) ölçüldüğünde, ışığın Dünya'nın esir içerisindeki hareketiyle aynı yönde mi, yoksa farklı yönde mi yayıldığına bağlı olarak, ölçülen hız değişiklik gösterecektir. Yapılan hesaplar, esirin varsayılan akış yönüne paralel olarak ve gidiş dönüş ilerleyen ışığın ölçülen hızının, esirin akış yönüne dik açıyla ilerleyen ışığın hızından daha düşük olması gerektiğini ortaya çıkarmıştı. Bunu aynen bir yü-

zücünün, nehirdeki akıntıya paralel yönde bir yukarı bir aşağı yüzerek belirli bir mesafeyi kat etmesinin, akıntıya dik açıda yüzerek aynı yolu tamamlamasından uzun sürmesine benzetebiliriz.

Michelson ve Morley, Dünya'nın hareketine göre farklı doğrultulardaki ışığın hızını aynı anda ölçebilen çok hassas bir alet kullanıyorlardı. Bu aletin, esir içerisindeki herhangi bir hareketi kolayca belirleyebilmesi gerekirdi. Ne var ki, binlerce denemeden sonra bile, ölçülen ışık hızı değerleri arasında herhangi bir fark bulamadılar. Yani esir basıncını tespit edemediler, esirin varlığını saptayamadılar.

Michelson ve Morley'nin yaptığı deneyden bu yana, başka pek çok bilim adamı da esirin varlığına kanıt bulmak için çeşitli deneyler yaptı. Hatta bu deneylerden bazıları günümüze epeyce yakın zamanda, çok ileri teknolojiler kullanılarak yapıldı. Ama hiçbiri esirin varlığına ilişkin herhangi bir kanıt bulamadı: Işığın hızı ne zaman ve hangi yönde ölçülürse ölçülsün, hep aynı çıkıyordu.

On dokuzuncu yüzyıl fizikçilerine göre esir, yalnızca ışık dalgalarının içinde yayıldığı vazgeçilmez bir ortam değil aynı zamanda cisimlerin gerçek hareketlerinin belirlenmesine olanak sağlayan mutlak bir referans çerçevesiydi. Bu ifadenin önemini anlamak için belirli bir sabit hızda, kırlardan geçen bir tren düşünelim. Trendeki yolcular ağaçların ve tarlaların geçip gittiğini görebildikleri için hareket etmekte olduklarından şüphe duymazlar. Fakat eğer fondaki ağaçlar ve tarlalar kaldırılırsa, tren hız değiştirmediği dolayısıyla da yolcular trenin yavaşlaması veya hızlanması ile oluşan kuvveti hissetmedikleri sürece, insanın hareket edip etmediğini belirlemesi zorlaşır. Yandaki raylarda başka bir tren belirirse, hangi trenin daha hızlı gittiğini, hatta trenlerden birinin durup durmadığını da belirlemek zorlaşır. Trenlerden biri saatte 100 kilometre hızla yol alırken diğeri de aynı yönde saatte 60 kilometre hızla ilerliyor olsaydı, yolcular için durum trenlerden biri saatte 40 kilometre hızla giderken di-

ğerinin hareketsiz durduğu durumla aynı olurdu. Hele de bir referans noktası işlevi gören fondaki manzara olmazsa, her iki trenin yolcularının da hangi trenin hareket ettiğini anlamaları mümkün olmazdı: Her iki grup yolcu da kendilerinin durduğunu, diğer trenin hareket halinde olduğunu ve tam tersine kendilerinin hareket halinde, diğerlerinin durmakta olduğunu iddia edebilirdi.

Hareket halindeki bir trenin arkasındaki manzara konusunun önemi, manzaranın insanın hareket edip etmediğini söyleyebileceği bir referans noktası sağlamasıdır. Buna dayanarak, trenin manzaraya (Dünya'ya) *göre* hareket ettiğini söyleyebiliriz. Bir referans noktası olmadan herhangi bir şeyin hareketli mi (hız sabit olmak koşuluyla) yoksa hareketsiz mi olduğunu söyleyebilmek olanaksızdır. Gerçekten de Dünya Güneş'in çevresinde saatte 108.000 kilometre hızla dönmekte; Güneş ve Güneş sistemi de Samanyolu Galaksisi'nin merkezi etrafında saatte 500.000 kilometre hızla dönmekte; galaksimiz ise evrende saatte 2.300.000 kilometre hızla yol almaktadır. Hepimizin kozmosta nefes kesen bir hızla dönüp durduğumuza kuşku yok; ne var ki günlük hayatlarımızda bunu algılayamıyoruz.

Esir, fizikçilere cisimlerin mutlak hareketlerinin kendisine göre belirlenebileceği evrensel bir "fon" sağlıyordu. Dünya Güneş'in çevresinde dönüyor dediğimizde, Güneş'i bir referans noktası olarak kullanırız: Dünya'nın dönüşünü Güneş'e göre düşünürüz. Fakat eğer Güneş de hareket halindeyse, Dünya'nın mutlak hareketi ile ilgili herhangi bir kanıt olmaz ve Güneş'in hareketini de başka bir şeye, örneğin bir başka yıldıza göre düşünmemiz gerekir. Ama eğer bu yıldız da hareket halindeyse, onun da hızını kendisine göre ölçebileceğimiz başka bir referans noktasına gereksinim duyarız. Öyleyse Dünya'nın ve Güneş'in gerçek (mutlak) hızları nedir? İşte durağan esir, bu mutlak hareketsizlik çerçevesini sağlıyordu: Tamamen durağan olduğu ve Dünya, Güneş veya herhangi bir başka gökcismiyle beraber hareket etmediği düşünülüyordu. Eğer Dünya'nın hızı

esire göre ölçülebilseydi, mutlak hızı belirlenebilir ve dolayısıyla herhangi bir şeyin Dünya'ya göre ölçülen hızı, o cismin mutlak hızını belirlemede kullanılabilirdi.

Newton göreli hareket probleminin farkındaydı. Kafasındaki mutlak hareketsizlik kavramı dinsel kökenliydi. Her ne kadar çevremizde gördüğümüz cisimlerden hiçbirinin mutlak olarak durağan olduğundan emin olamasak da, mutlak hareketsizlik diye bir şey kesinlikle *vardır* ve Tanrı tarafından bilinmektedir, diyordu. Dinsel inanç bazı koşullarda iyi bir şey olsa da, fiziksel dünyadaki olayları çözmek için kullanışlı bir yol sağlamaz. Oysa esir, mutlak olarak hareketsiz bir referans noktası sağlamanın en sağlam yoluydu. Ne yazık ki, varlığı tespit edilemediğinden, mutlak hareketsizlik kavramının temelleri de çok sağlam değildi.

Bu, klasik fizik için ağır bir darbeydi. Örneğin, Newton'un hareket yasalarının mutlak olarak hareketsiz bir referans noktasına gereksinimi vardı. Maxwell'in denklemleri için de bir mutlak referans noktası gerekiyordu. Esir olmadan ışık dalgalarının iletilebileceği bir ortam da olamaz ve hareketli cisimlerin hızlarını ölçmek için dayanak olarak kullanılabilecek mutlak bir referans noktası da olmazdı.

Michelson ve Morley'nin esirin varlığını ortaya çıkarmada uğradıkları başarısızlığa bir açıklama getirmek isteyen İrlandalı fizikçi George FitzGerald (1851-1901) hareket halindeki bir cismin boyunun, kendi mutlak hareket yönünde kısaldığını öne sürdü. FitzGerald'a göre Dünya'nın hareket yönüne paralel tutulan bir cetvelin boyu kısalacak, ama Dünya'nın hareketine dik açı yapacak şekilde tutulan cetvelin boyu kısalmayacaktı (ama bu sefer de, dar kenarı Dünya ile aynı yönde hareket ettiğinden, eni küçülecekti). FitzGerald, Dünya'nın hareketiyle aynı yönde yol alan ışık için yapılan bütün hız ölçümlerinin, ölçüm aletinde meydana gelen kısalma ile dengeleneceğini ve dolayısıyla Dünya'nın hareket yönüne dik açıdaki ışığın hızıyla aynı çıkacağını gösteren bir matematik denklemi türetti. Başka bir deyişle, esir

var olabilirdi, fakat Michelson ve Morley'nin yaptığı gibi ışığın hızını ölçerek tespit edilemezdi. Cisimlerin kendi hareket doğrultularına göre boylarının kısalması epeyce tuhaf bir fikirdi, ama yine de deneylerden elde edilen verilere olası bir açıklama getiriyordu. Einstein da görelilik kuramında aynı fikri kullandı.

Gündelik koşullarda hareket eden bir cismin fark edilmeyecek kadar az küçüldüğünü öne süren FitzGerald'a göre, ışık hızına yaklaşıldığında küçülme belirgin hale geliyordu. Buna göre, 30 santimetrelik bir cetvel ışık hızının yarısı hızda (saniyede 150.000 kilometre) yol alırken uzunluğu yaklaşık 27 santimetreye düşüyor, ışık hızının dörtte üçü hıza eriştiğinde boyu yaklaşık 20 santimetreye iniyor, ışık hızında ise artık ortada cetvelin boyu diye bir şey kalmıyordu!

Ardından, Flaman bilim adamı Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) yalnızca bir cismin mutlak hızı yönündeki boyunun kısalması gerektiğini değil aynı zamanda kütlesinin de artması gerektiğini matematiksel olarak ispatladı. Örneğin bir kilogram ağırlığındaki hareketsiz bir cismin kütlesi, cisim ışık hızının yarısı hızda yol alırken 1,15 kilogram, ışık hızının dörtte üçü hıza ulaştığında 1,5 kilogram, ışık hızında ise sonsuz olacaktı! Lorentz bu etkinin tanımını elektrik yüklü parçacıklar için yapmıştı, ama sonradan Einstein hareket eden tüm cisimlerde kütle artışı meydana geldiğini gösterdi.

Hareketli bir cismin hızı arttıkça, bir yandan boyunun kısalıp bir yandan da kütlesinin artması kulağa çok saçma gelebilir; hatta bu fikir tümüyle sağduyuya ters gibi görünebilir. Ne var ki sağduyu gündelik olaylar söz konusu olduğunda geçerlidir; gündelik dünyadaki hızlar ise ışık hızıyla karşılaştırıldığında çok ama çok düşüktürler. Saatte 60 kilometreyle giden bir otomobilin hızı, ışık hızının sadece on sekiz milyonda biri kadardır ve bu fark edilemeyecek kadar küçük bir kısalmaya ve kütle artışına neden olur. Işık hızına yaklaşıldığında ise kısalma ve kütle artışı belirgin hale gelir, ama normal koşullar altında hiçbir zaman ışık hızında hareket eden cisimler görmeyiz.

Her ne kadar FitzGerald, hareket halindeki cisimlerin küçüldüğü fikrini esirin varlığını gözden çıkarmamak için ortaya atmışsa da, ne bir cismin hareket yönünde boyunun kısalması ne de hızına bağlı olarak kütlesinin artması esirin varlığına bağlıydı. Albert Einstein **özel görelilik kuramını** esiri göz önüne almadan oluşturdu: Ona göre esire gerek yoktu. Cisimlerin hareketinin bu biçimdeki yorumu, klasik fiziğin açıklamayı başaramadığı problemlerin birçoğuna da çözüm getirdi.

Özel ve Genel Görelilik Kuramları

Einstein'ın özel görelilik kuramı ve onun ardından oluşturduğu genel görelilik kuramı fiziğe öyle büyük birer katkıydı ki, sonradan birçok yaşamöyküsü yazarı onu böyle bir deha yapanın ne olduğunu anlamaya uğraştılar, ama başaramadılar. Einstein 1879'da Almanya'da doğmuştu, ama sonradan Alman vatandaşlığını terk edip İsviçre uyruğuna geçti. Çocukluğunda, ilerde böyle devasa bir düşünsel başarısı olacağına dair bir ipucu yoktu. Gerçekten de, üç yaşına gelene dek doğru düzgün konuşamıyordu bile; anne ve babası öğrenme güçlüğü çektiğini düşünüyorlardı! Yalnız bir çocuktu, hayatının sonraki dönemlerinde de tekrar yalnızlığı seçecekti: "Yalnızlık deneyiminden geçmiş kişi, kolay kolay telkin altında kalmaz." demişti bir keresinde. Einstein, okuldaki ezbere dayalı öğrenim de içinde olmak üzere, her türlü disiplinden nefret ediyordu. Bu nefret, bir yandan okuldaki eğitim yöntemlerine başkaldırmasına yol açarken, diğer yandan da ona kendi kendini eğitme ve bağımsız düşünme cesareti verdi. En başarılı olduğu konu matematikti; sonradan Zürih'teki İsviçre Federal Politeknik Okulu'nda matematik okudu. 1902'de patent memuru olarak girdiği Bern'deki İsviçre Patent Bürosu'nda çalışırken, bir yandan da boş zamanlarında kuramsal fizik konusunda çalışıyordu. Fotoelektrik etki (V. Bölüm), Brown hareketi ve özel görelilik kuramı üzerine tüm dünyayı sarsan fikirlerini orada çalışırken yayımlamıştı.

Özel görelilik kuramı, Einstein'ın klasik fizikle ilişkilendirilen ve çelişkili görünen problemlerden bazılarını çözmek için kullandığı kuramsal yoldu. Örneğin klasik fiziğe göre, yüklü parçacıklar hareket ederken manyetik bir alanla ilişkidedirler. Burada bir soru ortaya çıkar: Neye göre hareket ederken? Dünya'daki bir yüklü parçacık, yani Dünya'ya göre hareketsiz olan bir parçacık yine de hareket etmektedir, çünkü Dünya hareket etmektedir. Yüklü parçacıklarla ilişkilendirilen manyetik alanları tanımlayan matematiksel denklemlerin, bir parçacığın hareket edip etmediğini söyleyebilmek için mutlak bir referans sistemine ihtiyaçları vardı. İşte Einstein bu mutlak çerçeve gereksinimini ortadan kaldırdı; sabit hızda hareket eden cisimlerin kuramsal incelemesi olan özel görelilik kuramı da klasik fiziğin görünürdeki birçok başka çelişkisini ortadan kaldırdı. Einstein'ın hareket ve elektromanyetizma analizinde mutlak bir referans sistemine gerek yoktur: Fizik yasaları, kişinin hareketinden bağımsız olarak, her gözlemci için aynıdır.

Newton'un hareket yasaları bir cismin herhangi bir hızda gidebilmesine izin veriyordu. Cismin üzerine yeterli büyüklükte bir kuvvet yeterince uzun süre uygulanırsa, o cismin ışık hızına, hatta daha da yüksek hızlara ulaşmasını engelleyecek bir şey olamazdı. Buna karşın Einstein'ın en önemli önermelerinden biri, düzgün hareket eden bir cismin ölçülen hızının, hiçbir zaman ışık hızından büyük olamayacağı şeklindeydi. Hem onun hem de FitzGerald ve Lorentz'in denklemleri, ışık hızında yol alan bir cisim için sıfır uzunluk ve sonsuz kütle öngörüyordu. Işık hızından daha yüksek hızlarda ise cismin kütlesi ve uzunluğu anlamını kaybediyordu. Einstein bu fikir için bazı dayanaklar bulmuştu bile: Hiç kimse, ışıktan hızlı giden bir cisim görmemişti. Gerçekten de, bu ifade bugün de geçerlidir.

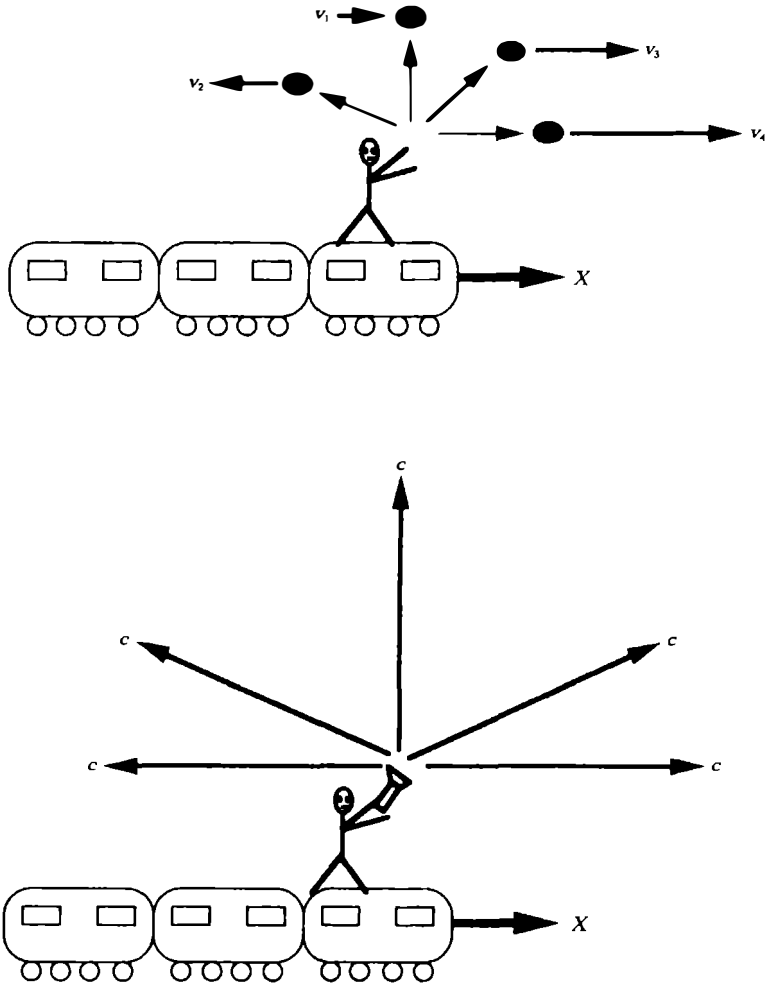
Einsten bir de, boşluk içerisindeki ışığın hızı ölçüldüğünde, ışık kaynağının veya ölçümü yapan gözlemcinin hızı ne olursa olsun, bulunan değerin hep aynı çıkacağını söylüyordu. Bu önermenin önemini kavrayabilmek için, hareket halindeki bir

trenden atılan bir taş düşünelim. Eğer taş trenin gittiği yönde atılmışsa, taşın (fondaki manzara içinde yer alan bir gözlemci tarafından ölçülen) hızı, başka herhangi bir yönde atıldığında olandan daha yüksek çıkacaktır. Eğer taş trenin hareket yönünde atıldıysa hızı trenin hızına eklenir, ama eğer trenin hareket yönünün tam tersi yönde atıldıysa taşın hızı trenin hızından çıkarılır (Şekil 11). Oysa ışık çok daha farklı davranır. Hareket eden bir trenden dışarı bir fener tutulduğunu düşünelim. Fener trenin ilerlediği yöne tutulduğunda ışık, fener başka bir yöne tutulduğunda gittiğinden daha hızlı gitmek yerine, her yönde aynı hızla yol alacaktır. Tren ışık hızının yarısı hızla ilerlese bile, trenin hareket yönündeki bir ışık ışınının ölçülen hızı, tren hareketsiz haldeyken ölçülen değerin bir buçuk katı değil aynısı olur (Şekil 11).

Işık hızı ile ilgili bu varsayımlardan çıkan bir sonuç da, bir cismin mutlak hızının hesaplanmasının olanaksız olduğudur. Einstein, mutlak hızı ölçmek için dayanak sağlayacak bir esire gerek görmüyordu. Her şey esir olmadan da açıklanabilirdi; bu da hiç kimsenin esiri tespit edememiş olduğu gerçeğiyle uyuşuyordu.

Eğer bir cisim ışık hızına yaklaştığında ölçülen kütlesi artıyorsa, o zaman Einstein'ın özel görelilik kuramını formüle ettiği dönemde bir olgu olarak genel kabul gören kütlenin korunumu yasası (madde yoktan var, vardan yok edilemez, bkz. X. Bölüm) ne olacaktı. Kütledeki bir artış maddenin yoktan var olması anlamına geldiğinden, açıkça bu yasayla çelişmiyor muydu. Einstein ünlü denklemi $E = mc^2$yi oluşturduğunda bu problemin yanıtına da ulaşmıştı. Bu denklem, bir cismin enerjisinin (E), kendi kütlesine (m) ve ışığın hızına (c) bağlı olduğunun ifadesidir. Einstein, kütlenin korunumu yasasını yeniden formüle ederek kütle-enerji korunumu yasasına dönüştürdü: Madde ve enerji yoktan var edilemez ve vardan yok edilemezler, ama birbirlerine dönüştürülebilirler.

Einstein'ın özel kuramı, daha ortaya çıkar çıkmaz fizikçiler için uzun zamandır bir bilmece olan radyoaktiviteye bir açıkla-



Şekil 11. Işığın ölçülen hızının sabit olması durumu. Hareketli bir trenden fırlatılan bir taşın hızının (üstte, v_1 - v_4) hem fırlatılma yönüne, hem de trenin hızına (X) bağlı olmasına karşın, ışık hızı (altta, c) fenerin hangi yöne tutulduğundan ve trenin hızından bağımsız olarak, hep aynı değerde çıkar. Oklar yönleri, okların uzunlukları hızı gösteriyor.

ma sağlamıştı (IV. Bölüm). Şimdi artık radyoaktif atomların dışarıya nasıl görünürde sonsuz miktarda enerji verdiği anlaşılabiliyordu: Atomların çekirdeklerindeki çok az miktardaki madde enerjiye dönüşüyordu. Yani kütle-enerji korunumu yasasına uyulmaktaydı. Einstein'ın özel görelilik kuramının açıklanması-

nın ardından fizikçiler, radyoaktif enerji üretilmesi sürecinde radyoaktif çekirdeklerin kütlesinde oluşması gereken azalmayı arayıp buldular. $E = mc^2$ denklemi, bir cisim enerjiye dönüştüğünde ortaya çıkan enerji miktarının, cismin kütlesinin ışık hızıyla çarpımının, tekrar ışık hızıyla çarpımına eşit olduğunu gösterir. Işık hızı çok yüksek olduğundan bu, çok az miktarda maddenin, çok büyük miktarda enerjiye dönüşebileceği anlamına gelir. Nükleer enerjinin ve atom bombalarının ardındaki temel ilke de budur: Küçük miktarlardaki maddeler, çekirdek tepkimeleriyle çok büyük miktarda enerjiye dönüştürülürler. Einstein'ın bir idealist ve barış yanlısı olduğu göz önüne alındığında, maddenin enerjye dönüşmesinin yıkıcı amaçlarla kullanılmasının onun kuramlarına kanıt oluşturması, sanki onunla alay eden kötü bir rastlantı gibidir.

Einstein'ın özel görelilik kuramı, zaman kavramına da alışılmışın dışında yeni birtakım yorumlar getirmiştir. Newton, aynı hareketle ilgili mutlak bir referans noktası konusunda yaptığı gibi, mutlak zamana ilişkin bilginin sorumluluğunu da Tanrı'ya bırakmıştı. Değişmez ve sonlu bir ışık hızının getirdiği sonuçlardan biri de, uzunluk ve kütle ölçümlerine ek olarak, zaman ölçümlerinin de cismin hareketine göre değişmesiydi. Einstein'ın matematiksel denklemlerine göre, bir cisim ışık hızına yaklaştıkça zaman uzar gibi görünüyordu. Örneğin, ışık hızının yüzde doksan sekizi hızla giden bir cisme göre, bir saniye beş saniyeye çıkar. Bu olguya **zaman genleşmesi** adı verilir. Ölçülen uzunlukta ve kütlede meydana gelen değişimlerde olduğu gibi, hızın zaman üzerindeki etkileri de günlük yaşamda karşılaştığımız hızlar için önemsiz düzeydedir, ama ışık hızına yaklaşıldığında önem kazanırlar.

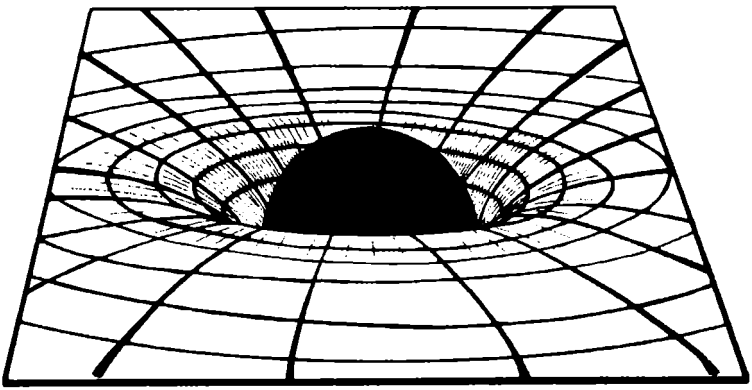
Birçok değişik kaynaktan zaman genleşmesine ilişkin kanıtlar gelmektedir. Örneğin, atomaltı parçacıkların ışık hızına yaklaşan çok yüksek hızlara erişmelerini sağlayan nükleer hızlandırıcılardan gelen kanıtlar vardır. Atomaltı parçacıklardan bazıları kararsızdır ve belirli bir hızda parçalanırlar. Hızları arttıkça, parça-

cıkların parçalanması gitgide yavaşlar: Işık hızına yaklaştıklarında, bozunmaları için gereken zaman giderek uzar. Einstein'ın cisimler hızlandıkça zamanın yavaşladığı savını destekleyen bir başka kanıt da, çok ileri bir teknolojinin ürünü olan atom saatlerinin çalışma hızları üzerine yapılan ölçümlerden gelir. Söz konusu saatlerin, çok hızlı hareket eden jetlerde ve uydularda Dünya üstündeki benzerlerinden daha yavaş işlediği gösterilmiştir.

Özel görelilik kuramı, düzgün hareketin bir cismin uzunluğu, kütlesi ve zaman üzerindeki etkileriyle ilgilidir. Einstein sonradan, düzgün olmayan hareketle ilgili olan ve kütleçekimine yeni bir bakış açısı öneren genel görelilik kuramını geliştirmiştir. Newton'a göre kütleçekimi, iki cisim arasındaki bir çekim kuvvetiydi: Büyük cisimlerin çekim kuvveti, küçüklerinkinden daha fazlaydı. Einstein bu fikri çürüttü. Kütleçekim kuvvetinin ivmeye (hız artışına) eşdeğerde olduğunu gösterdi ve bu **eşitlik ilkesi** olarak adlandırıldı. Yukarıya doğru ivmesi artarak hareket eden bir kabın içindeki bir cisim, aynı bir cismin kütleçekimi tarafından Dünya'ya doğru çekilmesi gibi, aşağıya, kabın zeminine doğru çekilir.

Einstein'a göre kütleçekimi cisimler arasındaki bir kuvvet değil, kütlenin varlığı nedeniyle meydana gelen bir uzay-zaman eğriliğiydi. Bir cisim yere Dünya'nın kütleçekimi kuvveti tarafından çekildiği için düşmez: Dünya'nın kütlesi tarafından yaratılan uzay-zaman eğriliği üzerindeki en kolay yolu seçtiği için düşer. Benzer bir durum, esnek malzemeden ince bir levha üzerine bir çelik bilye koyarak da yaratılabilir. Bilye (yani Dünya) levhada (yani uzay-zamanda) bir çukurluk meydana getirir ve levha bilyenin çevresinde, bilyeye yaklaştıkça dikleşen bir eğimle eğrilir (Şekil 12).

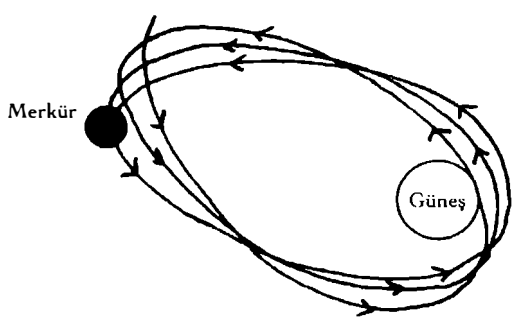
Her iyi kuram gibi genel görelilik kuramı da sınanabilir nitelikteydi. Örneğin, ışığın kütleçekimi tarafından eğileceğini öngörmekteydi. Einstein'a göre Güneş'in yakınından geçen ışık, Güneş'in yarattığı uzay-zaman eğriliği nedeniyle eğilecekti. Bunun da uygun koşullar altında ölçülmesi mümkün olmalıydı. Işı-



Şekil 12. Uzay-zaman eğriliği olarak kütleçekimi. Einstein kütleçekimini bir çekim gücü olarak değil, maddenin uzay-zaman eğriliğini etkilemesiyle ortaya çıkan bir şey olarak düşünüyordu. Benzer bir örnek olarak, esnek bir levhanın ortasında duran ve kendi yakın çevresinde eğrilmeye neden olan bir bilye düşünülebilir. Levha üzerinde yuvarlayacağımız küçük bir küresel cisim, levhadaki eğrilme yüzünden bilyeye doğru düşecektir. Benzer biçimde, cisimler de Dünya'nın kütleçekiminin etkisinde kalarak Dünya'ya "düşerler".

ğın Güneş tarafından eğilmesini gözlemek için en uygun fırsat tam güneş tutulmasıdır. 1919'da Batı Afrika kıyısı açıklarında böyle bir tutulma meydana geldi ve bir grup Britanyalı bilim adamı, Güneş'e komşu yıldızların konumlarını ölçüp öngörülen eğilmeyi arayarak Einstein'ın kuramını sınamak amacıyla bir keşif yolculuğu düzenlediler. Sonuçlar Einstein'ın kuramına uyuyordu. Bu olay öyle bir heyecan yarattı ki, Einstein neredeyse dünyada herkesin bildiği bir isim oldu. Genel göreliliğin böylece doğrulandığı kendisine bir telgrafla haber verildiğinde sükûnetini hiç bozmamıştı. O anda yanında bulunan öğrencilerinden biri olayın ne kadar heyecan verici olduğuna dair bir yorum yapınca, Einstein neredeyse duygusuzca karşılık vererek "Ama kuramın doğru olduğunu ben zaten biliyordum." demişti. Sonuçlar kuramıyla çelişkili çıkmış olsaydı ne düşüneceği sorusunu ise "O zaman sevgili Tanrı adına üzülürdüm, çünkü kuram doğru." diye yanıtlamıştı. Fakat aynı dönemde annesine yazmış olduğu bir mektup, öngörüsünün doğrulanmasının onu aslında ne kadar heyecanlandırdığını gösteriyordu.

Sonradan birçok fizikçi 1919'daki güneş tutulması sırasında yapılan ölçümlerin doğruluğundan kuşkuya düşmüşse de, o zamandan beri Einstein'ın kütleçekimine ilişkin fikrini destekleyen çok sayıda başka gözlem yapılmıştır. Einstein kendi genel kuramının klasik fiziğin açıklayamadığı bir bilmeceye, yani Merkür gezegeninin yörüngesindeki garipliğe bir yanıt bulduğunu da biliyordu. Güneş'in çevresindeki gezegenlerin yörüngelerinin hemen hemen -ama tam olarak değil- kapalı elipsler olduğu on dokuzuncu yüzyıl ortalarından beri bilinmekteydi. Gezegenler yalpalarlar, yani tamamladıkları her turdan sonra azıcık değişik bir noktaya dönerek, kapalı bir elipsten çok, iç içe geçmiş ilmiklerden oluşan bir yörünge meydana getirirler (Şekil 13). Merkür -Güneş'e en yakın gezegen- en fazla yalpalayan gezegendir. Newton'un kuramları Merkür'ün yalpalamasına uygulandıklarında tam bir açıklama sağlayamıyorlardı. Özellikle de Merkür üzerine bir kuvvet uygulayarak sapmaya neden olabilecek, Güneş'e yakın başka hiçbir gezegene rastlanamadığı için bu olgu birçok fizikçiyi şaşırtmaya devam ediyordu. Klasik fizik bu yörüngeyi açıklayamıyordu. Ancak genel görelilik, olaya kesin bir açıklama getiriyordu: Einstein Güneş'in uzay-zaman eğriliğine yaptığı etkileri tanımlayan denklemlerini bu probleme uyguladığında Merkür için öngörülen yörünge, Merkür'ün gerçek yörüngesiyle tıpatıp aynıydı.



Şekil 13. Merkür'ün yalpalaması. Merkür Güneş'in çevresinde dönerken yalpalar: Yani kapalı bir elips çizmez. Klasik fizik tarafından tamamen açıklanamayan bu olguya Einstein'ın genel görelilik kuramı tam bir açıklama getirdi.

Einstein'ın genel kuramı doğaya bakış ve evrenin özelliklerini açıklama konularına yepyeni bir bakış getirmekle kalmayıp, aynı zamanda evrenin kökenini ve özelliklerini inceleyen çağdaş evrenbilimin de temelini atmıştı. Einstein'ın genel görelilik denklemleri evrenin durağan olmadığını, ya genleşmekte ya da büzülmekte olduğunu öngörmekteydi. Her ne kadar Einstein evrenin durağan olduğunu düşündüğü için bu fikri reddettiyse de, başka fizikçiler onun denklemlerini kullanarak genleşen evren modelleri ürettiler; böylece evrenin kökenini Büyük Patlama'yla açıklayan kuramın yolu açılmış oldu. Einstein'ın "düşünsel deneyleri" varoluşa dair anlayışımızı kökünden değiştirmişti, bundan sonra da değiştirmeye devam edecek.

VII. Bölüm

Büyük Patlama ya da Her Şeyin Başladığı An



Evrendeki her şey -yüz milyarlarca galaksi, bütün gezegenler, her bir çakıltaşı, kum tanesi, erkek, kadın, çocuk, hayvan, bitki, bakteri, aslında bakılırsa her atom ve her damla enerji- bir zamanlar, bu cümlenin sonundaki noktadan çok daha küçük bir cismin içerisinde sıkışmış halde bir arada bulunuyorlardı. Kulağa ne kadar saçma gelirse gelsin, bu fikir evrenbilimcilerin evrenin başlangıcı için ürettiği ve birçoklarının son derece ciddiye aldığı bir kuramın parçasıdır. Bu kuram ve onun değişik yorumları, evrenin kökenine ilişkin **Büyük Patlama** diye anılan kuramı oluştururlar.

Dinler evrenin başlangıcına dair somut bir bilgi vermez. Söylenenlerin çoğu eldeki bilimsel kanıtlarla çelişkidedir, sadece inancın gücü baskın çıktığı için kabul edilirler. Örneğin, 1650'de İrlanda Başpiskoposu Ussher (1581-1656) Kitabı Mu-

kaddes'ten okuduklarına dayanarak, Dünya'nın MÖ 26 Ekim 4004 günü, sabah saat 9:00'da yaratıldığını hesaplamıştı. Oysa şimdi Dünya'nın yaşının 4 milyardan bir hayli büyük olduğuna kesinlikle eminiz (IX. Bölüm). Evren ise kuşkusuz Dünya'dan çok daha yaşlı. Bilim adamları, kendi dönemlerinin bilgileri çerçevesinde ellerinden gelen gözlemleri yapar ve buldukları kanıtlara dayanarak mantıklı sonuçlar çıkarırlar. Evrenin başlangıcı için öne sürülen Büyük Patlama kuramı da, eldeki bilimsel verilere anlamlı en net açıklamayı getiren kuramdır.

Evrenin kökeni, karşılaştığımız en temel sorulardan biridir. Her şeyin nereden geldiğini sorgulamamış insan sayısı, herhalde pek fazla değildir. Evren çok, insan imgelemine sığamayacak kadar çok engindir. Bununla beraber, zaman içinde geriye doğru bir yolculuk yapıp evrenin başlangıcına doğru gittiğimizde her şey basitleşir ve evren aklın kavrayış sınırları içine girer. İnsanoğlunun evrenin başlangıcı hakkında, canlı bir hücrenin yapısına oranla çok daha eksiksiz bir kavrayışa ulaşacağı söylenmiştir. Nasıl bir yumurta, kendisinden çıkarak gelişen hayvandan daha basit bir yapıdaysa, sanki evrenin evrim geçirerek farklılaşmasının ürünleri de evrenin kendisinden çok daha karmaşık yapıdadır. Büyük Patlama kuramından herhangi bir manevi değer çıkarılıp çıkarılamayacağını ileriki yıllarda göreceğiz. Şimdiki halde açık olan şey, evrendeki her atomun aynı kökten geldiği ve bir zamanlar her şeyin bir olduğudur.

Yirminci yüzyıla kadar genelde bilim adamları evreni sonsuz ve durağan olarak düşünüyorlardı. Ne var ki, yapılan birçok buluş bir araya gelerek evrenin durağan olmadığını, bunun yerine sonsuz küçüklükte ve çok büyük yoğunlukta bir noktadan yola çıkarak, yaklaşık on beş milyar ile yirmi milyar yıl süresince genleştiği fikrini sağlamlaştırdı. Çağdaş evrenbilim, geliştirdiği genel görelilik kuramıyla durağan olmayan bir evren öngören matematiksel bir model sağlayan Einstein ile başladı. Ne yazık ki, Einstein bile bazı yerleşik inanışlara bağlanma hastalığından tümüyle bağışık değildi; matematiksel denklemlerini,

durağan bir evrene uyacak biçimde değiştirdi. Evrenin gerçekten de genleşmekte olduğuna ilişkin kanıtların toplanması ve durağan olmayan bir evren fikrinin fizikçiler tarafından ciddiye alınması için bir on yıl daha geçmesi gerekti.

Kuramsal fizikçilerin matematiksel denklemlerinden evren için modeller üretilebileceği ve bu modellerin çoğunun evrenin özelliklerinin Dünya'dan gözlemlenmesiyle sınanabileceği bir kere açıklık kazanınca, fizikçiler evrenin sırlarını, yani yapısını, davranışını ve başlangıcını kavrayabileceklerini fark ettiler ve evrenbilim de kendi başına bir bilim dalına dönüştü.

Evren Üzerine İlk Fikirler

Einstein 1915'te genel görelilik kuramını ortaya atmadan önce, fizikçilerin büyük çoğunluğu evrenin sonsuz olduğunu ve yaratılışından beri özde şimdiki haliyle var olduğunu düşünüyorlardı. Çok sayıda fizikçinin kafa yorduğu bir bilmece vardı ki, sonradan buna Alman gökbilimci Heinrich Olbers'e (1758-1840) atfen **Olbers paradoksu** adı verildi. Olbers paradoksu, evrenin düzgün ve sonsuz olduğu fikriyle ilgili bir problemi tanımlar. Eğer evren uzayda gerçekten de sonsuzca uzanıyorsa ve içindeki yıldızlar da düzgün olarak dağılmışsa, gökyüzü geceleyin neden karanlık olur? Dünya'dan çekilecek her bakış çizgisinin, eğer ucu uzayda yeterince uzağa götürülürse mutlaka bir yıldıza denk düşmesi ve ışığın da bütün bu bakış çizgileri boyunca Dünya'ya erişerek gökyüzünü tamamen aydınlık yapması gerekmez mi? Gece gökyüzünün neden karanlık olduğunu aydınlatabilmek için bazı mantıklı açıklamalar önerildi. Örneğin bazı fizikçiler, evrenin çok genç olduğunu ve en uzaklardaki yıldızlardan gelen ışığın henüz bize ulaşamadığını öne sürerek gökyüzünün karanlık bölgelerinin, evrendeki böyle uzak bölgelere karşılık geldiğini söylediler. Bazıları ise uzak yıldızlarla Dünya arasındaki uzay boşluğunun ışığı keserek bize ulaşmasını engellediğini düşünüyorlardı. Evrenin sonsuz olduğu düşüncesini sorgulayan pek az fizikçi vardı. Çünkü Newton'un

kütleçekimi yasaları, daha iç bölgelerde yer alan cisimlerin daha dış bölgelerdeki cisimlere uygulayacağı kütleçekim kuvveti nedeniyle, sonlu ve durağan bir evrenin kendi üzerine kapanarak çökeceğini açıkça göstermekteydi.

Einstein genel görelilik kuramını evrenin yapısına uyguladığında, evrenin durağan olduğu fikrini sorgulamamıştı. Geliştirdiği matematiksel denklemler ilk başta evrenin ya genleşmekte ya da büzülmekte olduğunu düşündürdüğü için, Einstein bir "evrensel sabit" ekleyerek denklemlerini değiştirmeye karar verdi. Bu "evrensel sabit" matematiğin, öncesi ve sonrası olmayan, homojen ve durağan bir evren kalıbına uymasını sağlıyordu. Bazı başka bilim adamları evrensel sabiti hesaba katmayıp, genleşen bir evren için modeller önerdiler ve 1920'lerde Edwin Hubble'ın (1889-1953) genleşen bir evrene dair deneysel kanıt elde etmesi, bu kuramsal çıkarımlara güvenilirlik kazandırdı. Einstein çağdaş evrenbilimin babası ve belki de gelmiş geçmiş en büyük bilim adamı sayılabilir; buna rağmen genleşen bir evren fikrini ortaya atan ilk insan o olmamıştır. Sonradan kendisinin de söylediği gibi, matematiksel denklemlerine evrensel sabiti eklemesi hayatının "en büyük gafı" olmuştur.

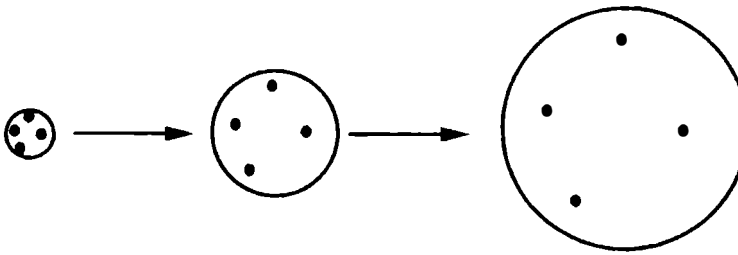
Genleşen Bir Evren

Flaman fizikçi Wilhelm de Sitter (1872-1934) Einstein'ın genel görelilik denklemlerine dayanarak genleşen bir evren modeli öneren ilk insandı; fakat denklemleri ancak evrende hiç madde olmadığı koşulda geçerli olabiliyordu. Başka fizikçiler, de Sitter'in modelini kullanarak evrenin madde parçacıkları içermesi durumunda ne olacağını tanımlayan matematiksel modeller geliştirdiler ve bütün bu madde parçacıklarının birbirlerinden uzaklaşıyor olması gerektiği sonucuna vardılar. 1920'lerde Rus fizikçi Alexander Friedmann (doğ. 1888) ile Belçikalı bilim adamı Georges Lemaitre (1894-1966) evrenin homojen olduğu ve hangi yönden bakılırsa bakılsın aynı görüneceği varsayımıyla, Einstein'ın genel görelilik denklemlerini incelediler. Lemait-

re'ın yorumu şöyleydi: Eğer galaksiler birbirlerinden uzaklaşmaktalarsa, o zaman geçmişte birbirlerine daha yakın oldukları varsayılabilirdi. Bu varsayım zaman içerisinde yeterince geriye götürülürse, evrendeki tüm maddenin, çok yüksek yoğunluktaki tek bir noktada toplandığı bir evre olmuş olması gerekirdi. İşte Büyük Patlama kuramı böyle doğdu. Aslında "Büyük Patlama" terimi başlangıçta kuramın karşıtlarından biri tarafından alaycı bir tavırla kullanılmıştı, ama zamanla kuramı destekleyenlerce de benimsendi. Lemaitre ayrıca, kısa bir süre sonra deneysel olarak da desteklenen **kırmızıya kayma** olgusunu da öngörmüştü.

Yirminci yüzyılın başlarında gökbilimciler, özellikle de ABD'li Vesto Slipher (1875-1969) bulutsu denen gökcisimlerinin hareketlerini ölçüyordu. Bilinen bulutsuların büyük çoğunluğunda kırmızıya kayma gözleniyordu. Yani bulutsulardan Dünya'ya ulaşan ışığı oluşturan elektromanyetik dalgalar, durağan bir ışık kaynağından beklenenden farklı olarak, tayfın kırmızı ucuna doğru kaymaktaydılar. Bu kırmızıya kayma, söz konusu bulutsuların Dünya'dan uzaklaşmakta oldukları anlamına geliyordu. Görünüşe göre, hemen hemen bütün bulutsular bizden uzaklaşmaktaydılar.

Hubble ve çalışma arkadaşı Milton Humason (1891-1972) bulutsuların kırmızıya kayması üzerine yaptıkları ölçümlerle önemli bir ilerleme kaydettiler: Bulutsular Dünya'dan ne kadar uzaksa, kırmızıya kaymalarının -ve dolayısıyla hızlarının- da o kadar fazla olduğunu gösterdiler. Hubble'ın bulutsuların Dünya'dan uzaklıkları ile ilgili ölçümleri, bulutsuların Samanyolu'nun kesinlikle ve hayli dışında olduğu sanısını pekiştirdi; bunlar gerçekte başka galaksilerdi. Kırmızıya kaymayı galaksilerin Dünya'dan uzaklıklarıyla ilişkilendiren Hubble yasası, evrenin genleşmekte olduğu fikrine de kanıt sağlamış oldu. Bir benzetme olarak, üzümlü kek örneği düşünülebilir: Kek pişerken genleştikçe üzümler de, kek içerisindeki konumları ne olursa olsun, birbirlerinden uzaklaşırlar (Şekil 14). Benzer şe-



Şekil 14. Evrenin genleşmesi kabaca, pişerken kabaran bir üzümlü keke benzetilebilir. Pişme sırasında kek genleştikçe üzümlerin tümü birbirlerinden uzaklaşır. Tek bir üzüm tanesinin açısından bakılırsa, bütün diğer üzümler ondan uzaklaşmaktadır. Bu, evrendeki galaksilerin birbirinden uzaklaşmasına benzer ve galaksilerin büyük çoğunluğunun neden kırmızıya kayma sergilediğini de açıklar.

kilde, eğer evren genleşmekteyse bütün galaksilerin de birbirlerinden uzaklaşıyor olması gerekir: Hubble ve Humason'ın elde ettiği veriler, genleşen bir evren için önerilen modellerle uyuşuyordu.

Hubble ve Humason'ın verilerinin evrenin genleştiğini açıkça göstermesine rağmen, evrenin bu verilerden yola çıkılarak öngörülen yaşıyla ilgili bir sorun vardı. Yaptıkları hesaplara göre, evren ancak iki milyar yaşında çıkıyordu. Oysa bu, en yaşlı kayaçların gayet hassas biçimde incelenmesiyle elde edilen ve Dünya'nın yaklaşık dört buçuk milyar yaşında olduğuna işaret eden sağlam kanıtlarla çelişmekteydi. Ardından bazı yıldızların ve galaksilerin de on milyar yaşında oldukları sonucuna varıldığında, bu çelişki daha da derinleşti. Fakat sonunda bu problem çözüldü: Sorun büyük ölçüde, Hubble ve Humason'ın Dünya'yla galaksiler arasındaki uzaklıkları aslında olduklarından çok düşük kabul ederek yaptıkları hatalı ölçümlerden kaynaklanıyordu. Genleşen evrenle ilgili yorumları zaten doğruydu, ama şimdi verilerinin evrenin yaşı için öngürdüğü değerler de, başka kaynaklardan elde edilen değerlerle tutuyordu.

Ardından, genleşen evren fikrine dayanan iki ana model ileri sürüldü. Bunlardan ilki, evrenin sonu belirsiz şekilde genleştiğini söylüyordu. İkincisi ise genleşme kritik bir evreye ulaştığında evrenin tekrar büzülmeye başlayacağını ve en sonunda

meydana gelen "Büyük Göçme"yle tüm maddenin yeniden, küçücük ama çok yüksek yoğunlukta bir noktada sıkışarak toplanacağını öne sürüyordu. Bu ikinci model, evrenin belirli aralıklarla yinelenen büzülme ve genleşme dönemlerinden geçtiğini ileri sürmekteydi.

Büyük Patlama kuramı artık bir kez güvenilirlik kazanınca, fizikçiler Büyük Patlama'dan sonraki, saniyenin çok küçük bir parçası uzunluğundaki zaman dilimlerine dönerek, zamanın değişik noktalarında evrenin kuramsal yapısını incelemeye başladılar. Örneğin, evrenin Büyük Patlama'dan sonra değişik zamanlardaki sıcaklığı matematiksel olarak hesaplanabiliyordu. Bu koşulların bazılarında madde ve enerjinin hangi hallerde bulunacağı ise zaten deneylerden bilinmekteydi. Evrenin başlangıçtaki yapısını çözme girişimlerinden çıkan varsayımlar, Büyük Patlama kuramının deneysel olarak sınanabilmesini sağladı. Bu varsayımlardan Sovyet kökenli ABD'li fizikçi George Gamow'a (1904-1968) ait bir tanesi, başlangıçtaki evrende çok sıcak bir ışınımın egemen olduğu şeklindeydi. Evrenin başlangıcından bir saniye sonra on milyar santigrat derece olan sıcaklığı, üç dakika sonra sadece bir milyar santigrat derece haline gelmişti. Evren bir milyon yaşına geldiğinde ise sıcaklığı 3000 santigrat dereceye düşmüştü. Gamow'un çalışma arkadaşları Ralph Alpher (doğ. 1921) ile Robert Herman (doğ. 1914) evrenin başlangıcındaki ışınımın, evrenin bütününe nüfuz etmiş olması gerektiğini ve bugüne dek –268 santigrat dereceye kadar soğumuş olacağını hesapladılar. Dolayısıyla, bu ışınım kalıntılarının hâlâ var olması ve tespit edilebilmesi gerekirdi. Frekansının ise radyo ve mikrodalga frekansları arasında bir yerde olduğu tahmin ediliyordu.

Gamow ve Alpher Büyük Patlama'dan bir süre sonra, daha küçük atomaltı parçacıklardan hidrojen ve helyum elementlerinin nasıl oluştuğunu açıklayan bir genleşen evren modeli önerdiler. Doksan iki doğal element arasından hidrojen ve helyum, evrende diğerlerinden büyük farkla en bol bulunan elementler-

dir. Yıldızlardaki ve galaksilerdeki bütün maddenin hemen hemen dörtte üçünden hidrojen sorumludur, yaklaşık dörtte biri ise helyum kaynaklıdır. Hidrojen ve helyum, var olan elementlerin en hafif ikisidir; ayrıca evren başlangıçta genleşip soğuduğunda ilk oluşanlar da bunlardır. Bundan önce evrenin sıcaklığı, atomların varlığına izin vermeyecek kadar yüksekti. Daha ağır elementler, evrende hidrojen ve helyuma oranla çok daha az miktarda bulunurlar. Gamow ile arkadaşları, görece ağır elementleri Büyük Patlama kuramı çerçevesinde açıklayamıyorlardı, ama hidrojen ve helyumun bağıl düzeylerini büyük bir kesinlik ve doğrulukla açıklamayı başardılar. Günümüzde ise ağır elementlerin çoğunun yıldızlarda oluştuğu düşünülüyor.

Gamow, ayrıca müthiş espri anlayışıyla da ün salmıştı. Nitekim, önerdikleri evrenin başlangıcı modeli ile ilgili olarak Alpher'le birlikte yayımladıkları bilimsel makalenin başına, fazladan bir isim -fizikçi Hans Bethe ("beta" diye okunur)- ekledi. Böylelikle üç yazarın isimlerinin okunuşu Yunan alfabesinin ilk üç harfini (alfa, beta, gamma) andırıyordu.

Hidrojen ve helyumun bolluğuna ilişkin tahminler Hubble'ın ve Humason'ın genleşme için buldukları kanıtlara eklenerek, Büyük Patlama kuramını destekliyordu. Bununla beraber, Alpher ve Herman tarafından evrenin başlangıcından artakaldığı düşünülen ışınım, eğer tespit edilebilirse, Büyük Patlama kuramına daha da güçlü bir kanıt sağlayacaktı.

Evrenin başlangıcından artakalan evrensel ışınıma ilişkin tahmin ta 1930'larda yapılmasına rağmen, pek az sayıda evrenbilimci tarafından ciddiye alındığından, ışınımın tespiti için pek fazla çaba harcanmadı. Başlangıçtaki evrenin gerçekten de yankısı olan mikrodalga fon ışınımı 1960'lara kadar bulunamadı. Zaten Arno Penzias (doğ. 1933) ve Robert Wilson (doğ. 1936) da bu buluşu tamamen rastlantı eseri yapmışlardı. Onlara 1978 Nobel Fizik Ödülü'nü kazandıran bu buluş, Büyük Patlama kuramı için de o güne dek sağlanan en iyi kanıttı.

Kozmik Mikrodalga Fon Işınımı

New Jersey'deki Princeton Üniversitesi'nin Holmdel Laboratuvarları'nda çalışan ABD'li iki fizikçi Robert Dicke (1916-1997) ve James Peebles (doğ. 1935) Büyük Patlama'dan artakaldığı varsayılan ışınımı arıyorlardı. Çalışma arkadaşları ile beraber tam bu ışınımı keşfetmelerine aracı olabilecek bir dedektör yapma aşamasındaydılar ki, Penzias ve Wilson hiç de böyle bir amaç gütmedikleri halde kozmik fon ışınımı keşfiyle ortaya çıkıverdiler.

Penzias ve Wilson, Dicke ile Peebles'ın laboratuvarından yalnızca kırk kilometre kadar ötedeki Bell Laboratuvarları'nda çalışmaktaydılar. Kendi uydu iletişim sistemlerini geliştirme hevesi içindeki Bell Laboratuvarları'nın hedeflerinden biri de, bilgi iletişimini mikrodalga ışınım frekanslarında sağlayabilmekti. Bu amaçla, Dünya'nın atmosferinde çok yükseklere yerleştirilmiş balonlardan sekerek yansıyan sinyalleri tespit edebilecek, neredeyse 7 metre uzunluğunda ve boynuz biçiminde büyük bir alıcı geliştirmişlerdi.

Penzias ve Wilson'ın asıl ilgilerini çeken mikrodalga iletişim sistemleri geliştirmekten çok, boynuz biçimindeki bu alıcıyı radyo gökbilim incelemelerinde kullanmaktı. Alıcıyı evrenden gelen radyo dalgalarını incelemek için kullanmalarına izin verilmişti. Ne var ki fondaki mikrodalgalar, aletlerinde hatırı sayılır miktarda parazit yapıyordu; dolayısıyla, bu istenmeyen ışınımdan kurtulmak üzere işe koyuldular. Parazitlenmenin bir bölümünü yok etmeyi başardılarsa da, kaybolmamakta ısrarla direnen bir miktar parazit daha vardı. Boynuz şeklindeki antendeki parazitlenmeden sorumlu olabileceğini düşündükleri güvercin pisliklerini temizledikleri halde bile, Penzias ve Wilson bu rahatsız edici mikrodalga fon ışınımından hâlâ kurtulamamışlardı. Anteni nereye çevirseler, karışan ışınım orada da ortaya çıkıyordu, üstelik her yönde eşit kuvvetteydi. Parazitten kurtuluş yok gibi görünüyordu; yavaş yavaş yenilgiyi kabul etmeye başlamışlardı.

1965'te Penzias ve Wilson bu sorunla ilgili akıl danışacakları birini aramaya karar verdiler. Kendilerine problemin çözümünde yardım edebilecek, Holmdel Laboratuvarları'ndan Robert Dicke ile bağlantı kurmaları önerildi. Penzias söz konusu mikrodalga parazitle ilgili fikrini almak için Dicke'ye telefon etti ve çok geçmeden dört bilim adamı, Dicke, Peebles, Penzias ve Wilson konuyu tartışmak için bir araya geldiler. Böylece, söz konusu parazitin aslında Dicke ile Peebles'ın onca zamandır izini sürdükleri ganimetten, yani Büyük Patlama'dan artakalan kozmik ışınımdan başka bir şey olmadığı açıklığa kavuştu. Penzias ve Wilson'ın güvercin pisliğinin yol açtığı bir parazitlenme olabileceğini düşündükleri şey, bununla karşılaştırılamayacak kadar önemli çıkmıştı: Duyulan şey, evrenin başlangıç döneminden kalma fısıltılardı! Penzias ve Wilson'ın bulduğu fon ışınımının sıcaklığı –269,5 santigrat dereceydi. Bu değer Peebles ve Dicke'nin tahminlerine, daha önce de Alpher ile Herman'ın yaptıkları tahminlere çok yakındı.

Penzias ve Wilson'ın Peebles ve Dicke'yle konuşmadan önce, kendi saptadıkları mikrodalga fon parazitinin evrenle ilgili Büyük Patlama kuramına o güne dek getirilmiş en güçlü kanıtı sağlayacağına dair en ufak bir fikirleri yoktu. İkilinin yaptığı hassas ölçümler kozmik mikrodalga fon ışınımının, zaten kendisinin de Büyük Patlama'dan artakalan ışınımın çehrelerinden biri olduğu tahmin edilen kara cisim ışınımından (V. Bölüm) bekleneceği gibi davrandığını ortaya çıkardı. Başka bilim adamları tarafından daha sonra yapılan incelemeler de, bu ışınımın evrenin doğumuna neden olan kozmik olayın kalıntıları olduğunu doğruladı. Kozmik mikrodalga fon ışınımını oluşturan fotonlar evrendeki en yaşlı fotonlar olup, on milyar yıldan uzun zamandır ortalıktadırlar.

Eğer Büyük Patlama kuramı doğru ise -ki buna inanmamız için her türlü neden mevcuttur, çünkü çok çeşitli kaynaklardan öyle olduğuna dair kanıtlar gelmektedir- o zaman evrenin başlangıcını ve bugünkü evrene dönüşürken geçirdiği evrimi gözümüzde nasıl canlandırabiliriz?

Büyük Patlama'nın Ardından

Büyük Patlama kuramını tanımlayan matematiksel denklemler, ancak yaratılış "anı"ndan saniyenin on milyon kere trilyon kere trilyon kere trilyonda biri (10^{-43} saniye) kadar sonra anlam kazanırlar. **Planck zamanı** denilen bu noktanın öncesinde bildiğimiz fizik yasaları anlamsızdır: Genel görelilik evrenin varoluşunun bu evresine uygulanamaz. Genel göreliliğe göre Planck zamanından önce, yani yaratılış "anı"nda evrenin yoğunluğu da, uzay-zaman eğriliği de sonsuzdu: Böyle bir duruma **tekillik** denir.

Bununla beraber, evrenin Planck zamanından sonraki durumuyla ilgili tahminler yürütmek mümkündür. Büyük Patlama anından Planck zamanına kadar geçen sürede, doğadaki dört temel kuvvet -kütleçekimi, elektromanyetik, zayıf çekirdek kuvveti ve güçlü çekirdek kuvveti- tek bir kuvvet halindeydi. Söz konusu kuvvetler, ancak bu zaman aralığından sonra özerk varlıklar olarak boy göstermeye başladılar.

Büyük Patlama kuramlarından birine göre, evrenin bir atomun çok küçük bir parçası büyüklüğünden genleşerek bir tenis topu büyüklüğüne erişmesi, ilk saniyenin trilyon kere trilyon kere trilyonda biri içerisinde gerçekleşmişti. Saniyenin trilyonda birine gelindiğinde ise çapı birkaç metreye ulaşmıştı. Evrenin genleşme hızı, sadece milyarda bir saniye geçtikten sonraki büyüklüğünden de anlaşılabilir: O anda, Dünya'dan neredeyse iki yüz elli bin kat daha büyük hale gelerek Güneş sistemimizin boyutlarına ulaşmıştı. Bir saniye "yaşına" geldiğinde evren, on milyar santigrat dereceye kadar soğumuş durumdaydı. Birkaç bin yaşına geldiğinde bile hâlâ çok sıcaktı: Binlerce santigrat derece!

Atomların oluşabilmesi için evrenin bir milyon yaşına gelmesi gerekiyordu, çünkü bundan önce atomaltı parçacıklar ışınım fotonlarıyla sürekli çarpışma halindeydi. Yarım milyon ile bir milyon yıl arası bir süre sonunda, fotonlar artık evrende serbetçe hareket edebilir hale gelmişlerdi. İşte Penzias ve Wilson'ın

keşfettikleri kozmik mikrodalga fon ışınımı da, bu ışınımın soğumuş artıklarıdır.

Büyük Patlama aslında tam bir patlama değildi. Her şeyden önce, buna bağlı bir ses oluşmuş olamazdı; çünkü ses dalgaları henüz yoktu. Ayrıca Büyük Patlama ne uzay*da*, ne de zaman*da* oldu: Evren genleşti dediğimizde anlatmak istediğimiz, aslında uzay-zamanın kendisinin genleştiğidir. Genleşmekte olan ilk evrenin "kenarı"nın ötesinde neler olduğunu, anlamlı terimlerle tartışmamız olanaksızdır.

Eğer başlangıçtaki evren homojen idiyse, galaksiler nasıl oluştu? Ne de olsa bugünkü evren, içinde noktalar halinde serpiştirilmiş galaksileriyle "parçacıklı" bir özellik taşır ve evrenin kimi bölgelerinde çok fazla sayıda galaksinin bir arada toplanarak "büyük setler" adı verilen kümeler oluşturduğuna dair kanıtlar vardır. Böyle bir heterojenliğin ortaya çıkabilmesi için, başlangıçtaki evrenin tamamen düzgün bir yapıda olmak yerine, birtakım dalgalanmalar taşıyor olması gerekirdi. Atomlar evren yarım milyon yaşına geldikten sonra, yani ışınımın atomaltı parçacıklarla çarpışmadan evrende rahatça hareket edebildiği dönemde oluşmaya başladığı için, birçok fizikçi evrende bu dönemde dalgalanmalar olmuş olması gerektiğini ve homojenlikteki bu bozuklukların, bugünkü galaksilerin meydana geldiği bölgeleri oluşturduğunu düşünüyordu. Fizikçiler evrenin ilk dönemindeki bu dalgalanmaların, kozmik mikrodalga fon ışınımın sıcaklığında değişiklikler olarak tespit edilebilmesi gerektiğini söylüyorlardı. Ama ne Penzias ve Wilson, ne de başkaları mikrodalganın sıcaklığında dalgalanma belirleyebildi. Ardından 1992'de NASA (Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Araştırmaları Dairesi) böyle değişiklikleri tespit etmek için yapılmış Kozmik Fon Araştırma Uydusu'nu (COBE) uzaya fırlattı. Uydu, mikrodalga fonun sıcaklığında gerçekten de çok ufak dalgalanmalar bulunduğunu tespit etti. Bu buluş, Büyük Patlama kuramını temel alan evren modelleri için ek bir destek sağlıyor ve bir kez daha bir

kuramdan yola çıkılarak oluşturulan bir öngörü, deneysel olarak doğrulanmış oluyordu.

Kozmosun çok büyük bir hızla genleştiği bir başlangıç evresinin olduğu, onu büyüme hızının giderek yavaşladığı bir evrenin izlediği öne sürülmektedir. Bu "şişme" döneminde evrenin çapı, ilk saniyenin çok ufak bir dilimi kadar bir sürede, santimetrenin on bin trilyon kere trilyonda birinden, 100 santimetreye genleşmiştir.

Evrendeki maddenin yoğunluğu, kozmosun kaderi açısından kritik önem taşır. Eğer kütle yoğunluğu belli bir kritik düzeyin üstüne çıkmışsa, evren sonunda kendi üzerine kapanarak "Büyük Göçme" ile çökecektir. Eğer yoğunluk bu kritik düzeyin altında ise evren sonsuza dek genleşmeye devam edecektir. Fakat eğer yoğunluk tam bu kritik düzeydeyse evren yine genleşmeyi sürdürecektir, ama bu defa gitgide azalan bir hızla. Bazı fizikçiler evrendeki kütle yoğunluğunun, evrenin giderek azalan bir hızla genleşmesine olanak sağlayan bu kritik düzeyde olduğunu düşünmektedir. O haliyle evrene "yassı" evren denmektedir. Fakat eğer bu doğruysa veya kütle yoğunluğu kritik düzeyi aşmışsa, evrende varolan maddenin onda dokuzundan çoğunu henüz tespit edememişiz demektir. Belki bu "kayıp" madde ile çepeçevre kuşatılmış durumdayızdır. Durum böyleyse -ki kimse böyle olup olmadığını bilmiyor- söz konusu bu maddenin, bildiğimiz sıradan maddelerin içinden geçebilen birtakım parçacıklardan oluşuyor olması gerekir. **Karanlık madde** olarak anılan bu maddeyi belirleyebilecek, çok ileri düzeyde ve karmaşık yeraltı aygıtları geliştirilmiştir. Eğer karanlık madde bulunursa, bu fizikteki en büyük buluşlardan biri olacak ve şu anda bildiğimiz maddenin, gerçekte var olanın yalnızca küçük bir bölümünden ibaret olduğu anlamına gelecektir.

Evrenin varoluşunun ilk aşamaları ile ilgili hâlâ yanıt bekleyen birçok soru var. Planck zamanından öncesinde genel görelilik kuramı işlemez hale geliyor. Bu evreyi anlayabilmek için, çok çok küçük ölçeklerle ilgilenen yeni bir kurama gereksinim

doğuyor. Fizikçiler kuantum kuramını (V. Bölüm) kullanarak Büyük Patlama'dan hemen sonraki, saniyenin bu çok ufak diliminde evrenin neye benzediğini çıkarmaya uğraşıyorlar. Büyük Patlama'dan sonraki ilk saniyenin on milyon kere trilyon kere trilyon kere trilyonda birini inceleyen kuantum evrenbilimi denilen yeni bilim dalı da bu düşüncelerden doğmuştur. Her şeyden çok da bir kuantum kütleçekimi kuramına gereksinim duyulmaktadır. Doğadaki diğer üç temel güç -zayıf çekirdek etkileşimleri, elektromanyetizma ve güçlü çekirdek etkileşimleri- kuantum kuramıyla tanımlanabildiği halde, kütleçekimi bu anlamda hâlâ anlaşılamamıştır. Bu dört gücün hepsini kuantum kuramı çerçevesinde içine alabilecek birtakım kuramlar -örneğin "süpersicimler" kuramı- geliştirilmiş, ama şimdiye kadar hiçbiri evrenin Planck zamanından öncesine ilişkin kesin bir tanım getirememiştir. Belki "kütleçekim dalgaları"nın belirlenmesi bazı ipuçları verecektir. Bu dalgaların var olduğu tahmin ediliyor, ama birçok fizikçi grubu izlerini sürdüğü halde henüz bulunamadılar. Böyle bir iz, bize evrenin başlangıç evreleriyle ilgili bilgi verebilir, tıpkı kozmik mikrodalga fon ışınımının kozmosun başlangıcına dair bilgi vermiş olması gibi.

Peki bu durumda tekillik, yani Einstein'ın genel görelilik kuramının yaratılış "anı" için öngördüğü sonsuz yoğunluk ve sonsuz uzay-zaman eğriliği hali ne olacak? Britanyalı bilim adamları Stephan Hawking (doğ. 1942) ve Roger Penrose (doğ. 1931) genel görelilik evrene uygulandığında tekilliklerin kaçınılmaz olduğunu gösterdiler. Bunlardan kaçınmak isteniyorsa, yeni kuramlar geliştirilmeliydi. Hawking, kara delikler -ki bunların da merkezlerinde bir tekillik barındırdıkları tahmin edilmektedir- üzerine yaptığı incelemelere dayanarak, genel görelilik kuramını ve kuantum kuramını beraberce içine alan bir kuram geliştirdi. Bu kuram, bir yandan kozmosun ilk anlarına ilişkin olarak öncekilerden bir adım daha ileride bir model sunarken, bir yandan tekillikten de uzak durmayı başarabiliyor. Halen geliştirilmekte olan diğer birçokları gibi bu kuram da "her

şeyin kuramı" diye adlandırılıyor, çünkü evreni en başından günümüze kadar açıklıyor. Evrenin bir başlangıcının olmaması, "sıfır zaman" fikrinin anlamsız olması da mümkün. Böyle senaryolardan biri evrenin, içinde zamanın hiçbir anlam taşımadığı ama kuantum kuramı aracılığıyla tanımlanabilen bir halden "ortaya çıkıverdiği", Planck zamanından sonra genel göreliliğe uygun olarak evrimleştiğidir. Bazı bilim adamları, doğru bir "her şeyin kuramı"nın pek de uzağımızda olmadığını düşünüyor. İşte o zaman, evrenin "yaratılış"ından günümüze kadar matematiksel bir tanımına sahip olabileceğiz.

VIII. Bölüm

Moleküler Futbol Topları



1991 yılının Aralık ayında, dünyanın en iyi bilim adamları tarafından çok saygın bir dergi olarak kabul edilen *Science* her yıl verdiği "Yılın Molekülü" ödülünün sahibini açıkladı. Bu unvan, son on iki ay içinde en özlü bilimsel çabaya örnek oluşturduğu düşünülen bilimsel gelişmeye verilir. 1991 yılının galibi **buckminster fulleren** denen bir molekül yani C_{60} olmuştu. Bu zarif ve şaşırtıcı molekülün keşfi heyecan, rastlantı ve merakın bir hikâyesidir. Bu hikâye, bir yandan bilimsel sürecin nasıl işlediğini çok güzel anlatırken, bir yandan da en yerleşik fikirlerin bile, yeni ve beklenmedik bir buluş karşısında nasıl değişebileceğini gösterir.

Bir saf karbon biçimi olan buckminster fullerenin keşfi, önceden hiç görülmemiş bir tür molekülle beraber kimyada yepyeni bir alan ortaya çıkardı. Buckminster fulleren bilinmezken, karbo-

nun doğal halde yalnızca iki kristal biçiminde var olduğu sanılıyordu: Elmas ve grafit. İs gibi, kristal olmayan başka biçimleri de bilinmekteydi. 1985'te buckminster fulleren keşfedilip de üçüncü bir kristal karbon biçimi olduğu anlaşıldığında birçok bilim adamı hayret içinde kalmıştı. O tarihten beri, buckminster fullerenle akraba olan başka birçok molekül keşfedildi ya da yapıldı. Bunların hepsi **fullerenler** adı verilen bir madde sınıfına dahildir.

Birçok kimyacının gözünde fullerenler, grafitten ve elmastan çok daha ilginç ve heyecan vericidir. Bu maddeler, daha önce hiç görülmemiş kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip yüzlerce hatta binlerce yeni maddenin üretilmesini sağlayabilir. Fullerenlerin gelecekte yeni yapay polimerler, endüstriyel yağlama maddeleri, süperiletkenler, moleküler bilgisayarlar ve tıp için yararlı ilaçlar da dahil, çok çeşitli maddelerin yapımında rol oynaması güçlü bir olasılıktır.

Buckminster fullerenin keşfi, 1865'te Alman kimyacı Freidrich Kekule'nin (1829-1896) benzenin halkalı yapısıyla ilgili önerisini anımsatır. O dönemin kimyacıları, bir benzen molekülünde kaçar tane karbon ve hidrojen atomu olduğunu (altışar tane) biliyorlardı, ama bu atomların ne şekilde dizildiğine ilişkin bir şey bilmiyorlardı. Benzen 1825'te Faraday tarafından keşfedilmiş, sonra da Alman kimyacı Johann Loschmidt (1821-1895) benzen molekülünün halkalı olduğunu öne sürmüştü. Buna rağmen, sonunda benzenin yapısını doğru olarak açıklayan Kekule oldu. Anlatılanlara göre, Kekule rüyasında altı karbon atomundan oluşan dizinin bir yılana dönüştüğünü görmüştü. Yılan, kuyruğunu ısırarak bir halka haline geliyordu. Çok geçmeden Kekule, benzenin altı karbonluk halkalardan oluşan bir yapıya sahip olduğunu öne sürerek günümüzde kullanılan, boyadan ilaca birçok sentetik maddeden sorumlu yepyeni bir kimya alanının ("aromatik kimya") yolunu açtı. Eğer Kekule'nin açıklaması halkalı bileşikler kimyasının başlangıcı sayılıyorsa, buckminster fullerenin de "küresel" kimyanın doğuşunun habercisi olduğu rahatlıkla söylenebilir.

Fulleren kimyasının kökleri, gökbilim alanında yürütülmekte olan araştırmalara dayanır. Buckminster fullereni keşfeden bilim adamları başlangıçta, yıldızların çevresindeki ve aralarındaki tozun içinde bulunan kimyasal maddelerle ilgileniyorlardı. Eğer fullerenlerden elde edilmesi beklenen çeşitli yararların ortaya çıkması yakınsa -ki eldeki verilere bakarak bundan emin olabiliriz- o zaman buckminster fulleren, kozmosun yıldızlarıyla ilgili temel araştırmalardan nasıl tıp ve endüstri açısından değerli birtakım maddelerin doğabileceğine en yetkin örneği oluşturacak.

Buckminster fullerenin keşfinin hakkını verebilmek için, önce diğer iki kristal karbon biçiminin, yani elmasın ve grafitin molekül yapısı üzerine biraz bilgi edinmemiz yararlı olacaktır.

Elmas, Grafit ve Karbon Yıldızları

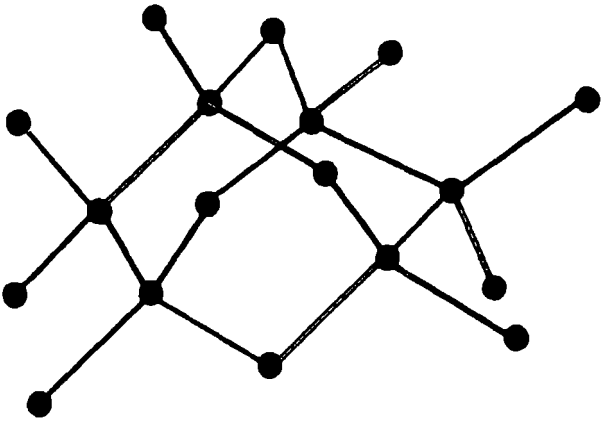
Binlerce yıldır madenlerden çıkarılmakta olan elmas, tarihöncesi dönemlerde bile biliniyordu. Elmas is ile aynı temel elementten (karbondan) meydana gelmesine rağmen, büyük ölçekte estetik açıdan hangisinin daha göz okşayıcı olduğuna kuşku yok. Nitekim bir kadının en iyi dostunun elmas olduğu söylenir, is parçacıkları değil. Elmas bilinen en sert doğal maddedir. Sertliği sadece bir mücevher olarak beğenilirliğine katkıda bulunmakla kalmaz, aynı zamanda kesme aleti ve öğütmede etken malzeme olarak endüstride de çok yararlı olmasını sağlar. Kurşunkalemin içindeki "kurşun" olarak hepimizin yakından bildiği grafit, hem görünüşü hem de özellikleri bakımından elmastan belirgin olarak farklıdır: Daha koyu renklidir ve çok daha yumuşaktır. Yapısının pul pul oluşu, kurşunkalemin kolayca açılabilmesini sağlar. Grafit, yağlama malzemesi olarak kullanılabildiği ve elektriği iletebildiği için endüstriyel makinelerde, elektrik endüstrisinde ve uzay endüstrisinde de işe yaramaktadır.

Peki, ikisi de özünde saf karbon olan elmas ve grafit neden birbirinden böylesine farklıdır? Bunun yanıtı, molekül yapıla-

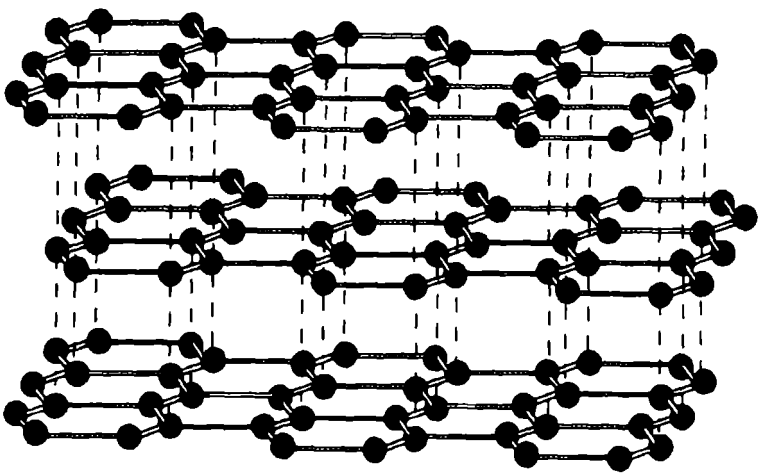
rındaki karbon atomlarının dizilişinde yatar. Elmastaki her karbon atomu dört adet güçlü kimyasal bağla bir dörtyüzlü oluşturacak biçimde dört başka karbon atomuna bağlanır (Şekil 15). Benzer şekilde, bu dört karbon atomunun her biri de, yine dörder güçlü bağla, dört farklı karbon atomuna bağlanır ve bu düzen, birbirlerine sımsıkı bağlı karbon atomlarının ördüğü muhteşem bir kafes oluşturarak sürüp gider. Bu düzenleniş yapıyı sağlamlaştırır: Karbon atomları arasındaki bağlar her yönde yayılır, kırılmaları ve şekillerinin bozulması çok zordur. Sonuç olarak, elmas gerçekten de çok serttir.

Öte yandan, grafit tümüyle farklı bir yapıya sahiptir. Burada her karbon atomu, sadece üç diğer karbon atomuna güçlü bağlarla bağlıdır. Bunun sonucunda, altıgen biçimindeki karbon atomu halkalarından meydana gelen tabakaların oluşturduğu yaygın bir yapı ortaya çıkar (Şekil 15). Grafit, üst üste dizilmiş böyle birçok altıgen karbon tabakasından oluşur. Her tabaka kendi içinde gayet sağlam olduğu halde, komşu tabakaların arasındaki ilişki zayıftır; bu da, tabakaların birbiri üzerinde kayabilmesini sağlar. İşte grafitin bu özelliği, yani karbon atomu tabakalarının birbiri üzerinde hareket edebilme özelliği, ona pul pul yapısını verir. Grafit ayrıca elektriği iyi iletir, oysa elmas öyle değildir. Bunun nedeni, grafitteki elektronların altıgen karbon tabakaları arasında serbestçe hareket edebilmeleri, buna karşın elmastaki elektronların hepsinin karbon atomları arasında güçlü bağlar kurmakla görevli olması, dolayısıyla da serbestçe hareket edememeleridir.

1980'lerin başında karbonun sadece iki kristal biçiminde var olduğu sanılıyordu: Elmas ve grafit. Bununla birlikte, dünyanın çeşitli yerlerinde birtakım bilim adamları uzayda, özellikle de yıldızların çevresindeki maddelerde bulunan karbonla ilgilenmekteydiler. 1970'lerde, Samanyolu galaksisine boydan boya yayılmış olan ve yıldızlararası tozdan oluşan kara bulutların, kısa karbon atomu zincirlerine sahip moleküller içerdiği belirlenmişti. Bazı bilim adamları, bu bulutların **kızıl dev**ler (karbon



Elmas



Grafit

Şekil 15. Elmasın ve grafitin yapıları. Elmas, her biri dörder karbon atomuna bağlanarak geniş ve sağlam bir yapı oluşturan karbon atomlarından meydana gelir. Grafitte ise her karbon atomu güçlü bağlarla üçer karbon atomuna bağlanır ve altıgen halkalardan oluşan tabakalar meydana getirir. Şekilde karbon atomları siyah dairelerle, güçlü bağlar düz çizgilerle, zayıf etkileşimler ise kesik çizgilerle gösterilmiştir.

yıldızları) tarafından üretildiğini düşünüyorlardı. Kızıl devler, yıldız ışığının kaynağı olan nükleer enerjinin tükenmesi sonucunda şişmiş ve soğumaya başlamış, ölmekte olan yıldızlardır. Böyle yıldızları, gece göğünde gözle görebiliriz: Örneğin, Ori-

on takımyıldızındaki Betelgeuse bir kızıl devdir. Bu yıldızlar sık sık büyük miktarda toz yayar. Bir kurama göre bu toz, belki de isi andıran, karbon parçacıkları içeriyordu.

Kızıl devler tarafından üretilen karbon moleküllerinin yapılarını belirlemeye uğraşan başka bir grup bilim adamı da İngiltere'deki Sussex Üniversitesi'nden Profesör Harry Kroto (doğ. 1939) ve ekibiydi. Kroto ve beraberinde çalışanlar, 1970'lerde yıldızlararası tozda karbon içeren çok sayıda molekül olduğunu belirlemişlerdi ve daha da uzun moleküller bulma peşindeydiler. Aynı sırada, ABD'deki Arizona Üniversitesi'nden Profesör Don Huffman (doğ. 1935) ve Almanya'nın Heidelberg kentindeki Max Planck Nükleer Fizik Enstitüsü'nden Profesör Wolfgang Kratschmer de (doğ. 1937) uzaydakine benzer bir toz üretebilmek amacıyla ortak bir çalışmaya başlamışlardı. Huffman ve Kratschmer, bu yıldızlararası tozun esas olarak karbondan oluştuğunu düşünüyorlardı. Dolayısıyla onu taklit edebilmek için, bir vakum içerisine hapsedilmiş iki grafit çubuktan elektrik akımı geçirerek grafiti buharlaştırdılar. Sonra da, buharlaşan grafitin meydana getirdiği kara duman bulutunu incelediler.

Buckminster Fullerenin Keşfi

1982'de Huffman ve Kratschmer, kendi yapımları olan yıldızlararası karbon tozu taklidini, içinden morötesi ışık geçirerek incelediler. Karbon tozunun morötesi ışığı ne şekilde soğurduğuna ve dağıttığına bakılarak, var olan moleküllerin doğasına ilişkin bilgi edinilebilir. Kendi yapımları olan "is"ten çıkan sonuçları, kömürü normal laboratuvar atmosferinde yaktıklarında çıkan isten elde edilen verilerle karşılaştırdılar. İki is türü arasındaki şaşırtıcı bir fark, iki bilim adamının dikkatini çekti: Belirli birtakım karbon molekülleri, buharlaştırılmış grafit isinde özellikle bol miktarda bulunuyordu. Bu moleküller, morötesi ışık soğurma deneylerini kaydeden grafikte, belirgin biçimde güçlü sinyaller olarak görünüyordu. Huffman ve Kratschmer buharlaştırılmış grafitle elde ettikleri sonuca, bu iki belirgin sin-

yalden dolayı "deve tayfı" adını taktılar. İki bilim adamı, bu iki tepe noktasının ne olduğunu ve neden karbon tozundaki diğer karbon moleküllerinden belirgin biçimde daha öne çıktıklarını merak etmelerine rağmen, en azından o dönem için çalışmalarını sürdürmemeye karar verdiler.

Huffman ile Kratschmer'ın "deve tayfı", beş yıl neredeyse hiç el sürülmeden kenarda bekledi. Konuyu yeniden ele aldıklarında buckminster fulleren -yani "hörgüç"lere neden olan şey- Harry Kroto ve onunla birlikte çalışan Bob Curl (doğ. 1933), Richard Smalley (doğ. 1943) ve onların Houston, Teksas'taki Rice Üniversitesi'nden meslektaşları tarafından keşfedilmişti bile.

Kroto 1984'te Curl ve Smalley'i Rice Üniversitesi'nde ziyaret etti. Üç bilim adamı, yıldızlararası uzaydaki karbon molekülleri hakkında daha fazla bilgi edinebilmek için birlikte çalışmaya karar verdiler. Rice Üniversitesi'nde, grafiti güçlü bir lazer ışınıyla 10.000 santigrat derecede buharlaştıran bir alet kullanarak deneylere başladılar. Kroto'nun düşüncesine göre bu alet, Huffman ve Kratschmer'in aygıtının yaptığı gibi, kızıl devlerin çevresindeki koşulların aynısını yeniden yaratmaya yarayabilirdi. Bu yöntemle üretilen "is"in moleküler bileşimi incelendiğinde, karbon atomu sayısı 30'la 100 arasında değişen karbon moleküllerine sahip olduğu bulundu. İlginç olan, isteki bu karbon bileşiklerinden bir tanesinin, diğer bileşiklere göre çok daha bol miktarda olmasıydı: Bu molekül altmış karbon atomu içeriyordu ve dolayısıyla C_{60} adını aldı. Yetmiş karbon atomu içeren bir başka molekül de (C_{70}) görece boldu. Bunun anlamı, buharlaştırılmış grafitten elde edilmiş isin içinde C_{60}'ın ve C_{70}'in özellikle kararlı moleküller olduğuydu. Peki, altmış karbon atomuna sahip bir molekül neden başka moleküllerden çok daha kararlı oluyordu.

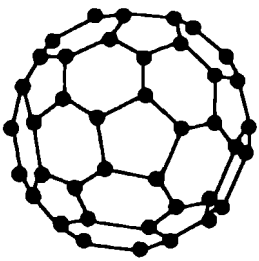
Buldukları sonuç Kroto, Curl, Smalley ve çalışma arkadaşlarının akıllarını karıştırmıştı. C_{60}'ı göz ardı etmek mümkün değildi: Yaptıkları deneylerde tekrar tekrar ortaya çıkıyordu ve

sırf meraktan bile olsa, peşine düşmeye değerdi. Böylece, altmış karbon atomunun kararlı bir molekül oluşturacak şekilde nasıl düzenlenebileceğini düşünmeye başladılar. Tartışmalarının onları götürdüğü sonuçlardan biri, altıgenlerden oluşan grafit tabakalarının, kapalı kafesler oluşturacak şekilde kendi üzerlerine kapandığı fikriydi. Kroto'nun aklına, 1967'de Montreal'de düzenlenen Dünya Fuarı'ndaki (Expo 67) jeodezik kubbe geldi. Dünyanın çeşitli yerlerinde inşa edilen binlerce jeodezik kubbeden biri olan bu örnek, ABD'li mimar Richard Buckminster Fuller (1895-1983) tarafından tasarlanmıştı. Jeodezik kubbeler altıgenler ve beşgenlerden meydana gelir. Kroto, C_{60}'ın bir tür moleküler jeodezik kubbe olup olamayacağını düşündü. Bir yandan da, yıllar önce kendi çocukları için yaptığı üç boyutlu yıldız haritasını hatırladı: Onda da altıgenler ve beşgenler vardı. Acaba C_{60} beşgenler ve altıgenler biçiminde düzenlenmiş karbon atomlarından oluşuyor olamaz mıydı.

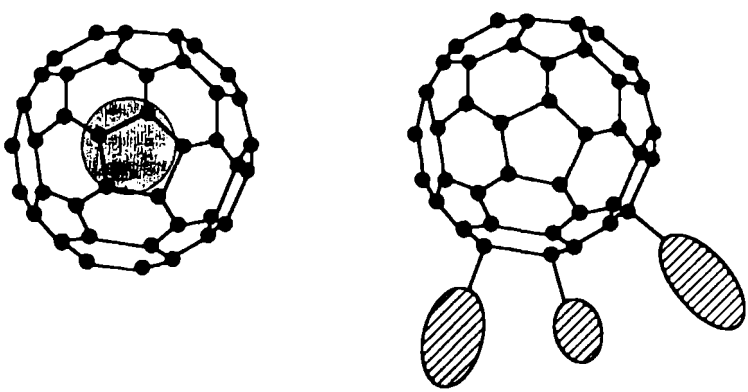
Smalley, kâğıttan beşgenler ve altıgenler keserek, bunları altmış tane köşesi olan -her köşe bir atoma karşılık geliyordu- üç boyutlu bir küresel cisim oluşturmak üzere kabaca birleştirdi. Bunu yapmak için on iki beşgen ve yirmi altıgen kullanmıştı. Smalley başlangıçta ortaya çıkardığı yapının tam olarak ne olduğunu anlayamadı. Bunun üzerine Rice Üniversitesi'nin matematik bölümüne başvurarak, oluşturduğu yapının ne olduğunu bilip bilmediklerini sordu. Aldığı yanıt gayet basitti: Smalley'nin yaptığı maket, bir futbol topuna benziyordu (Şekil 16). Futbol topları on iki beşgen (genellikle siyah) ve yirmi altıgen (genellikle beyaz) parçanın bir küre oluşturacak şekilde birbirine dikilmesiyle meydana gelir. Buharlaştırılmış grafitten elde edilen isteki altmış atomluk karbon molekülleri de, molekül büyüklüğünde birer futbol topuydu!

Kroto, Curl, Smalley ve çalışma arkadaşları C_{60}'ın, yaptığı jeodezik kubbelerle düşüncelerinde önemli payı olan Buckminster Fuller onuruna isimlendirilmesi gerektiği fikrinde birleştiler: Bu moleküle buckminster fulleren adı verilecekti.

Ne yazık ki, buckminster fulleren yalnızca çok az miktarda elde edilebiliyordu. Futbol topu şeklinde olduğunu doğrulamak için tasarlanan araştırmaları gerçekleştirebilmek için ise çok daha fazlasına gerek vardı. Çalışmalar bu aşamadayken Huffman ve Kratschmer, kendi deyimleriyle "deve tayfı" üzerindeki "hörgüç"lerin buckminster fulleren olabileceğini tahmin ettiler. Zaten söz konusu "hörgüç" de buharlaştırılmış grafitten elde edilen is incelenirken ortaya çıkmıştı. Huffman ve Kratschmer, çalışma arkadaşlarıyla birlikte tahminlerini doğruladılar ve çalış-



C_{60} (buckminster fulleren)



Şekil 16. Buckminster fullerenin yapısı ve olası türevlerinden bazıları. Altmış karbon atomu, 12 beşgen ve 20 altıgenden meydana gelen bir küre biçiminde düzenlenmiştir (üstte). Atomlar ve başka moleküller (büyük daire) bu kürenin içinde yer alabilir (altta, solda) ve çeşitli kimyasal gruplar (taralı ovaller) küreye dışarıdan eklemlenebilir (altta, sağda). Bu özellikleri C_{60}'a büyük bir esneklik kazandırır ve tıptan elektroniğe, çeşitli alanlarda kullanılabilme olasılığını da beraberinde getirir. Şekilde karbon atomları siyah yuvarlaklarla gösterilmiştir.

malarının devamında, görece büyük miktarda buckminster fulleren çıkarabilen ve kristaller üretebilen ilk bilim adamları oldular. Böylece buckminster fulleren, kristal yapıdaki karbonun bilinen üçüncü biçimi olarak elmas ve grafite eklendi.

Bu şaşırtıcı moleküler futbol topu, kimyacılar ve fizikçiler arasında heyecan yarattı. Dünyanın her köşesindeki laboratuvarlarda, bilim adamları buckminster fulleren ve onun diğer fulleren akrabaları üzerinde çalışmaya koyuldular. 1990'da büyük miktarda yalıtılabildikten sonra buckminster fullerenin yapısı da kesinlik kazandı. Ayrıca Bunsen lambasından çıkan sıradan iste de bulunmuş olması, okuldaki kimya derslerinde hepimizin buckminster fulleren yapmış olduğunu gösteriyor.

Buharlaştırılmış grafit isinde bulunan ve yetmiş karbon atomu içerdiği belirlenen, özellikle kararlı diğer molekülün (C_{70}) yumurta biçiminde olduğu tespit edilmiştir: Bu molekül, uzatılmış bir küreye, belki biraz Amerikan futbolu topuna benzer. Buckminster fulleren gibi C_{70}'te de on iki tane beşgen, ama ondan farklı olarak yirmi beş altıgen vardır.

Matematiğin ilkelerinden biri, beşgenler ve altıgenlerden oluşan bir kafesin tam olarak kapanabilmesi için on iki beşgene ihtiyaç olduğunu söyler. Yalnızca altıgenlerden, sayıları ne kadar çok olursa olsun, kapalı bir küresel cisim oluşturulamaz. Aslına bakılırsa, on iki tane de beşgen kullanmak koşuluyla, 1 dışında herhangi bir sayıda altıgenle, kapalı bir küresel cisim yapılabilir. Kurulması mümkün olan en küçük kapalı yapı için iki altıgen ve on iki beşgen gerekir: Bu yapı C_{24}'e karşılık gelecektir. Yapının kimyasal kararlılığının özellikle iyi olması için, bu on iki beşgenin beşer kenarından hiçbirinin bir başka beşgenle ortak olmaması gerekir. Bir başka deyişle, eğer beşgenler altıgenler tarafından birbirinden tamamen ayrılmış durumdalarsa, ortaya çıkan küresel cisim de özellikle kararlı olur. C_{60} (buckminster fulleren), on iki beşgenin altıgenlerle birbirlerinden tamamen yalıtılmış halde olduğu en küçük kapalı yapıdır ve onu böylesine özel yapan da budur. Karbon atomu sayısı altmışın

üzerine çıkarıldığında, on iki beşgenin altıgenlerle birbirlerinden tamamen ayrıldığı bir sonraki kapalı yapı C_{70}'tir. Grafit isi üzerine yapılan deneylerde, altmışla yetmiş arasında bir sayıda karbon atomu içeren moleküller, C_{60} ve C_{70} kadar öne çıkmıyordu; çünkü bu ara moleküllerin hepsinde birbirlerine komşu beşgenler olacak, dolayısıyla o moleküller C_{60} ve C_{70} kadar kararlı olamayacaklardı.

Buckminster fullerenin keşfinden bu yana, kalabalık bir fullerenler ordusu üretilmiştir. Karbon atomu sayıları beş yüz kırka varan kapalı küresel cisimler (C_{540}) tespit edilmiş, ayrıca "buckytubes" denilen, tam kapalı olmayan moleküller yaratılmıştır. Buckminster fullerene ise "buckyball" adı yakıştırılmıştır. Fullerenlerin başka moleküllerle oluşturdukları kimyasal bileşimler, gitgide daha da ilginç ve önemli hale gelmektedir. Örneğin, metal atomlarının ve başka kimyasal maddelerin, buckminster fulleren topunun içine "hapsedildiği" moleküller yapılabilir. Bu maddelerden bazıları, süperiletkenlik gibi, yepyeni özelliklere sahip olabilir. Birtakım kimyasal maddeler, örneğin ilaçlar, futbol topunun içine yerleştirilebilir ve kürenin yüzeyinde ilacın salınması gerektiğinde, yani küre vücudun doğru yerindeyken ve doğru zamanda açılabilen "kapılar" yaratılabilir. Kimyasal grupların futbol topu şeklindeki moleküle dışarıdan tutunarak "kulaklar" oluşturduğu başka maddeler de üretilmiştir (bu türevlerden birine "bunnyball" ismi verilmiştir). Bu maddelere, içinde yeni kimyasalların yattığı bir altın madeni gözüyle de bakılabilir; bu futbol topu kimyasının yeni ve heyecan verici uygulamalarına tanık olabilmemiz için gereken tek şey ise zaman.

Kızıl dev yıldızların püskürttüğü yıldızlararası tozun içerisinde buckminster fulleren bulunup bulunmadığı hâlâ açıklık kazanmadı. Ama açık olan bir şey var ki, o da insanın yıldızları anlayabilmek için atıldığı maceranın, toplum yararına müthiş uygulamalar getirebilecek, yepyeni ve heyecan verici bir bilimsel alanın yolunu rastlantısal olarak açmış olması. Harry Kroto'nun

buckminster fullerenin keşfi üzerine söylediği gibi, "Bu ilerleme, temel bilime ait bir başarıdır; temel bilimin, stratejik ve uygulamalı alanlar için önem taşıyan sonuçlar elde edebileceğini bize tam zamanında hatırlatmıştır."

IX. Bölüm

İtişip Kakışan Levhalar, Yanardağlar ve Depremler



Gökbilim ve evrenbilim dallarında gerçekten de şaşırtıcı ve olağanüstü buluşlar yapıladursun, Dünya'nın yapısı ve hareketleri üzerine yapılan araştırmalar da karşımıza birtakım bilimsel sürprizler çıkardı. Yerküreyi fizik açısından inceleyen bilim dalı olan jeofizikteki en büyük gelişmelerden biri, 1960'larda ortaya atıldığında kıtaların ve okyanusların yapısı ve özellikleriyle ilgili gözlemlerin birçoğunu açıklayan **levha tektoniği kuramı** oldu. Bu kuram dağların nasıl biçimlendiğini, yanardağların ve depremlerin nasıl oluştuğunu anlamamızda çok önemli rol oynadı. Ayrıca yaşamın evrimi, iklim değişiklikleri ve okyanus tabanının yapısı ve özellikleri de dahil, Dünya'daki başka birçok sürecin işleyişiyle ilgili kavrayışımıza büyük katkısı oldu. Levha tektoniği gezegenimize bakışımızı tümden değiştirdi. Bu bakımdan, daha geniş anlamda-

ki yuvamız diyebileceğimiz evrenin kökenini açıklamak için öne sürülen Büyük Patlama kuramının (VII. Bölüm) jeofizikteki dengi sayılabilir.

Çoğumuz Dünya'yı olduğu haliyle öyle kanıksamışızdır ki, durup da okyanusların ve kıtaların varlık nedenlerini sorguladığımız anlar, o da eğer varsa, pek nadirdir. Yanardağları, dağları ve depremleri saygı dolu bir hayranlık içinde, bazen de ürperti ve korkuyla seyrettiğimiz halde, Dünya'nın bu muazzam çehrelerinin nasıl oluştuğunu çok seyrek olarak düşünürüz. Çoğumuzun insanlığın tarihi ve canlıların evrimi hakkında biraz bilgisi vardır, ama dört buçuk milyar yıl öncesiyle, yani gezegenimizin oluştuğu zamanla bugün arasında Dünya'nın yüzeyinin büründüğü şekillerin eksik de olsa bir resmini aklında canlandırabildiğini kaçımız söyleyebilir?

Yanardağ püskürmeleri ve depremler tarihte her zaman olagelmiştir; yıl geçmez ki dünyanın bir köşesinde bunlardan biri veya her ikisi birden olmasın. Bu olaylar çoğunlukla görece zararsız atlatılır, ama zaman zaman bir yanardağ veya deprem insanlık için çok büyük felaketlere neden olur. Eski İtalyan kenti Pompei, yanardağ püskürmesinin insan toplumu üzerinde nasıl korkunç bir afet etkisi yaratabileceğine bir örnektir. MS 79 yılının 24 Ağustos'unda yakınındaki Vezüv Yanardağı'nın şiddetle patlaması, Pompei'yi altı metre kalınlığında bir kül tabakasının altında bıraktı. Şehir bir gün içerisinde yok olmuştu. İnsan vücutları erimiş lava değer değmez eriyip dağıldı; yerlerinde, çevrelerinde soğuyup katılaşan lavın sakladığı izleri kaldı. Yüzyıllar sonra arkeologlar, sert volkanik kaya içerisinde oluşmuş insan biçimindeki oyukları çimento ile doldurarak, talihsiz kurbanların dökme heykellerini çıkardılar.

Cava ile Sumatra arasında bir ada olan Krakatoa, tarihte kaydedilmiş en yıkıcı yanardağ püskürmelerinden birine sahne olmuştu. 1883'te yanardağ aylar boyunca aralıklarla püskürdü. Bu püskürmelerden biri o kadar gürültülüydü ki, sesi 5000 kilometre uzaktan duyuldu; gücü ise binlerce atom bombasına eş-

değerdi. Krakatoa'nın püskürmesi sonucunda yakaşık kırk bin insan öldü; ölümlerin çoğunluğu volkanik patlamaların yarattığı dev dalgalardan kaynaklanmıştı. Patlamalar sırasında Krakatoa'nın yarısı yok olup gitti. Daha yakınlardaki bir tarihte, 1980'de ABD'nin Washington Eyaleti'ndeki St. Helens Dağı püskürdüğünde zirvesinin üçte biri havaya uçtu. Sayısız ağaç devrildi ve kabukları soyuldu; zararın milyarlarca dolar olduğu hesaplandı.

Depremler de insanlığa yıkım ve acı getirmiştir. 1556'da Çin'de meydana gelen bir depremde neredeyse bir milyon kişi ölmüştü; 1976'da yine Çin'deki bir başka depremde ise yarım milyondan çok insanın hayatını kaybettiği sanılıyor. California'daki San Francisco kenti, 18 Nisan 1906 günü akşamüstü saat beşi on geçe, o çok bilinen depremle sarsıldı. Kentin zemini parçalandı ve kent merkezi neredeyse tamamen yıkıldı; yüz binlerce insan evsiz kaldı, yaklaşık sekiz yüz kişi öldü. Levha tektoniği kuramı, yerkürenin gelecekteki durumuna ilişkin tahminler yürütülebilmesini sağlamıştır. California için yapılan tahmine göre, eyaletin Los Angeles'ı ve San Francisco'nun bir kısmını da içine alan batı bölümü, önümüzdeki yirmi milyon yıl içerisinde Amerika kıtasından ayrılarak küçük bir kıta haline gelecektir.

Yanardağların ve depremlerin nasıl oluştuğuyla ve özellikleriyle ilgili fikirlerimiz, levha tektoniği kuramının sonucu olarak yirminci yüzyılın ikinci yarısında büyük bir değişim geçirdi. Yeryüzünün şimdiki durumu, geçmişinin sonucudur. Gezegenimizin gelecekteki durumuna ilişkin daha da gelişkin varsayımlarla, ilerideki yıllarda depremlerin ve yanardağların yol açacağı kayıplar en aza indirilebilir. Binalar ve diğer yapılar daha dayanıklı olacak şekilde inşa edilebilir; insanlar yaşadıkları yerleri terk etmeye daha hazırlıklı olabilir, bu amaçla önceden uyarılabilirler.

Levha tektoniği kuramı Alman iklimbilimci Alfred Wegener'in (1880-1930) 1912'de ortaya attığı bir fikirden yola çıkıla-

rak geliştirilmiştir. Wegener bugünkü kıtaların iki yüz milyon yıl önce, kendisinin **Pangaea** diye adlandırdığı tek bir süperkıta halinde olduğunu düşünüyordu. Wegener'in kuramına göre bu süperkıta zaman içinde parçalara ayrılmış ve bu parçalar Dünya'nın yüzeyinde sürüklenerek bugünün kıtalarını meydana getirmiştir. Ne yazık ki, Wegener'in fikirleri o dönemin pek çok diğer bilim adamsına göre kabul edilemez nitelikteydi ve birçok jeofizikçi tarafından alayla karşılandı.

Wegener'in kıta kaymasıyla ilgili fikirlerinden söz etmeden önce, Dünya'nın yapısı ve bileşimine ilişkin biraz bilgi edinmek yararlı olur.

Dünya'nın Yapısı

Dünya 1300 kilometre kalınlığında ve çoğunlukla demirden oluşan katı bir iç **çekirdek**ten meydana gelir. Bu iç çekirdeğin üzerinde 2200 kilometre kalınlığında, ergimiş demirden bir dış çekirdek vardır. Katı ve ergimiş demirden çekirdekler beraberce Dünya'nın toplam kütlesinin üçte birini, hacminin ise altıda birini oluşturur. Yeryüzüne doğru çıkmaya devam edersek, demirden çekirdeğin hemen üstünde yaklaşık 3000 kilometre kalınlığında ve Dünya'nın kütlesinin üçte ikisini, hacminin ise beşte dördünden fazlasını oluşturan **manto** bulunur. Son olarak da, mantonun üzerine oturan ve okyanus tabanları ile kıtalardan oluşan **yerkabuğu** gelir. Yerkabuğu Dünya'nın kütlesinin binde beşinden de azını, hacminin ise binde yedisini meydana getirir.

Deniz seviyesinin üstünde kalan karalar yerkabuğunun, dolayısıyla da Dünya'nın çok küçük bir parçasıdır. Örneğin, Himalayalar'ı meydana getiren kayaçlar 70 kilometre derinliğe inen bir kabuk oluşturur, ama biz yalnızca dağların tepelerini görürüz. Dünya'nın en yüksek dağı olan Evrerest Dağı'nın deniz seviyesinden yüksekliği 9 kilometre bile değildir, yani çoğu yerin altında gömülüdür.

Dünya'nın mantosuyla onun üzerindeki okyanusal ve karasal kabuğu ayıran çizgiye, bunu keşfeden Yugoslav bilim adamı

Andrija Mohorovičić (1857-1936) onuruna **Moho** ya da **Mohorovičić Süreksizliği** denmiştir. Kıtalar ve okyanus tabanları, kabuktan daha yoğun maddelerden meydana gelmiş mantonun üzerinde yüzerler. Okyanus tabanları bazalt ve diğer sert kayaçlardan oluşmuştur ve görece incedir. Kıtalar ise daha düşük sertlikteki granit kayaçlardan meydana gelmiştir ve okyanus tabanlarından daha kalındırlar. Bu, okyanus tabanlarının yüzebilirliğini kıtalardan düşük kılar ve yerkabuğunun temelde neden iki katlı (okyanus tabanı karaların altında olmak üzere) bir yapı olduğuna açıklık getirir. Okyanuslar Dünya yüzeyinin yaklaşık dörtte üçünü kaplar, kalanı ise kıtalardır. Kıtalar ortalama 30-40 kilometre kalınlıkta, okyanus tabanları da 6 ile 7 kilometre arası bir kalınlıktadır.

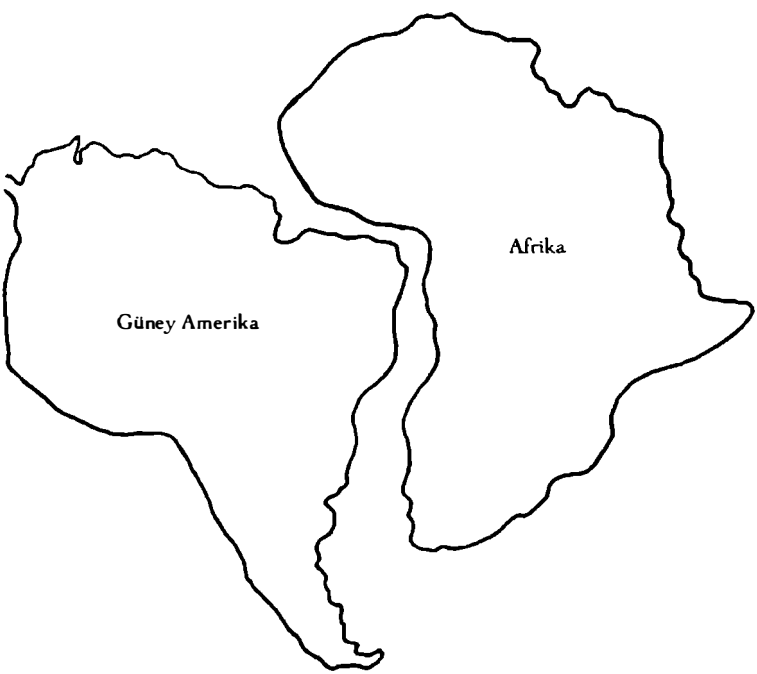
Wegener yerkabuğunun bileşimi hakkında epey bilgiye sahipti. Özellikle de, okyanus tabanının yüzebilirliğinin kıtasal kabuktan daha düşük olduğunu ve kıtaların daima okyanus tabanından daha yüksekte bulunduğunu biliyordu. Wegener'in kıtaların kaymakta olduğunu söyleyen kuramını öne sürmesine yol açan da (başka kanıtların yanı sıra) işte bu özellikti.

Wegener'in Kıta Kayması Kuramı

Wegener **kıta kayması** kuramı için önemli miktarda kanıt toplamıştı. Kuramının nesnel düşünürler tarafından hiç değilse akla yakın bulunması gerekirdi. Kabul görmemesi, belki de Dünya'nın durağan olduğu şeklindeki yerleşik inanca meydan okuması yüzündendi. Bu inanç, aydınların beyinlerine kazınmıştı. Kocaman kıtalar nehirde yüzen sallar gibi Dünya'nın yüzeyinde hareket edebilirler miydi.

Başlangıçta Wegener'i kıtaların kaydığını düşünmeye iten şey, hem kendisi hem de daha önce başkaları tarafından yapılmış basit bir gözlemdi: Güney Amerika'nın doğu kıyı çizgisiyle Afrika'nın batı kıyı çizgisi, sanki bir yapbozun iki parçası gibi birbirine uyuyordu (Şekil 17). Bugün, eğer kıyı çizgilerinin deniz seviyesinden bir kilometre aşağıdaki şekillerine bakarsak,

bu iki kıtanın birbirine göründüğünden daha da iyi uyduğunu biliyoruz. Wegener diğer kıtaların kıyı çizgileri arasında da benzer bir uyum olduğunu fark etti; bu da onu, sonradan parçalanıp kayarak bugünkü kıtaları oluşturduğunu öne sürdüğü süperkıta Pangaea varsayımına yöneltti. Kıtalar arasındaki uyumu açıklamak için daha önce de çeşitli kuramlar ortaya atılmıştı. Bunlardan biri Afrika ile Güney Amerika'nın bir zamanlar aynı kıtanın parçaları olduğu, ama onları birleştiren kara parçasının okyanusun dibine çökmesi ve yerine su dolması (Atlantik Okyanusu) sonucu birbirlerinden ayrıldıkları fikriydi. On dokuzuncu yüzyılda birtakım bilim adamları Atlantik Okyanusu'nun tabanında kayıp bir kıtanın, yani Atlantis'in kalıntılarının bulunduğunu öne sürmüşlerdi. Wegener bu kurama



Şekil 17. Güney Amerika'nın doğu kıyı çizgisi ile Afrika'nın batı kıyı çizgisi arasındaki uyum. İki kıta, yapboz parçaları gibi birbirine oturuyor. Bu ve diğer bazı kıtalar arasındaki benzer uyumlar, Alfred Wegener'e kıtaların bir zamanlar süperkıta (Pangaea) halinde birleşik olmuş olabileceğini düşündürdü.

karşı çıktı, çünkü okyanus tabanının yüzebilirliğinin kıtasal kabuğun yüzebilirliğinden daha düşük olduğu biliniyordu. Bu da okyanus tabanının her durumda kıtalardan daha düşük bir seviyede olması gerektiği anlamına geliyordu. Wegener'e göre iki kıtanın ayrı yönlere sürüklendiğini ve aralarında yeni okyanus tabanı oluştuğunu varsaymak daha mantıklıydı. Anakaraların çok yavaş da olsa yukarı doğru hareket edebildiğine ilişkin güçlü kanıtlar vardı. Örneğin, dünyanın kimi yerlerindeki liman duvarlarında yüzyıllardır duran lengerler o kadar yükselmişlerdi ki, bunlara tekne bağlamak artık olanaksız hale gelmişti. Wegener, eğer kara parçaları yükselebiliyorlarsa niçin yanlara doğru da hareket edemesinler, diye soruyordu.

Wegener kıta kayması için ek kanıtlar da buldu. Güney Amerika'nın doğu kıyılarıyla Afrika'nın batı kıyılarındaki bitkiler ve hayvanlar birbirine benziyordu, en çok da fosilleşmiş yaşam biçimleri. Bu, akla uygundu: Dünya'nın geçmişindeki bir dönemde, kıtalar hâlâ birleşikken, şimdi fosilleşmiş organizmaların aynı kara parçasında birlikte yaşıyor olmaları, dolayısıyla da birbirlerine benzemeleri gerekirdi. Sonraları kıtalar birbirlerinden uzaklaşınca canlılar evrim geçirecek, iki ayrı kıtadaki türler hâlâ benzer olacak, ama bir zamanlar aynı kara parçası üzerinde beraber yaşayan fosilleşmiş yaratıklara oranla daha fazla çeşitlilik göstereceklerdi.

Kıta kaymasına bir başka kanıt, kıyı çizgileri birbirine uyan değişik kıtalardaki dağ dizilerinin de birbirini gayet güzel tutmasıydı. Dahası Pangaea üzerinde bitişik olduğu iddia edilen iki kıtadaki değişik kaya katmanları da büyük benzerlik gösteriyordu. Jeolojik incelemeler, iki kıtanın bir zamanlar benzer iklimleri paylaştığını gösteriyordu. Ne yazık ki, Wegener kıta kaymasının kesin işleyiş biçimini açıklamakta zorluk çekiyordu; muhaliflerinin ona bu derece şiddetle karşı çıkmalarının bir başka nedeni belki de buydu. Wegener 1930'da öldüğünde, kıta kayması kuramına inanan pek az kişi vardı. Ne kadar çok kanıt olsa da, karaların durağan doğasına ilişkin kurumlaşmış fi-

kirleri sarsmak zordu. Wegener'in kıta kayması önerisi, hakkı verilmemiş bir bilimsel atılım olarak bir otuz yıl daha kenarda kaldı. Sonra, 1960'larda yeniden canlandırılarak levha tektoniği kuramına dahil edildi.

Levha Tektoniği

Wegener'in ölümüyle levha tektoniği kuramının ortaya çıkması arasında çok sayıda gelişme oldu. İlk olarak, kıtasal kayaçların manyetik özelliklerinin incelenmesi, ancak geçmişte kıtaların uzaklaştığı varsayılırsa açıklanabilen birtakım garip nitelikleri gün ışığına çıkardı. İkincisi, İkinci Dünya Savaşı'nın ardından gelişen teknoloji, okyanus tabanlarının daha önce hiç olmadığı kadar derinlemesine incelenebilmesine olanak tanıdı. Bu çalışmaların yapılma nedeni kısmen, artan askeri bilinçti. Okyanusların anlaşılması, özellikle de atom bombası yüklü denizaltıların çok derinlerde yol alabilmesini sağlamak açısından önemliydi. Okyanus tabanlarıyla ilgili yeni bilgiler, ilginç bazı özellikler ortaya çıkardı. Bunları açıklamanın en iyi yolu, kıtaları hareketli olarak ele alan bir kuramdı.

Kıta kayması fikrinin yeniden gündeme gelmesine katkıda bulunan manyetik veriler, kayaçların birçoğunun geçmişte Dünya'nın manyetik kutuplarına göre nasıl konumlandıklarına dair bir "belleğe" sahip oldukları esasına dayanıyordu. Bu durum özellikle volkanik kayaçlar için geçerlidir. Ergimiş lavda bulunan demir ve başka manyetik maddelerin atomları, tıpkı pusula ibrelerinin aynı yönü göstermesi gibi, manyetik kuzey-güney doğrultusunda konumlanırlar. Lav soğuyup katılaştığında içindeki manyetik maddelerin atomları, lav ergimiş haldeyken nasıl konumlanmışlarsa öyle kalır. Yani bugünkü sert kayaçların içindeki manyetik bileşenlerin doğrultusu, bu kayaçların katılaşması sırasında Dünya'nın manyetik kutuplarının hangi doğrultuda olduğunu gösterir. Bu "fosilleşmiş pusula ibrelerinin" aşağıya doğru eğilme miktarı da, kayaçların ergimiş haldeyken Dünya'nın manyetik kutuplarından ne kadar uzakta

bulunduklarını açığa vurur. Kutuplarda manyetik parçacıklar düşey olarak aşağıyı gösterir, ekvatora yaklaştıkça eğilme miktarı azalır, ekvatorun tam üstünde ise hiç eğilmezler. Başka bir deyişle, kayaçların manyetik özelliklerinin ölçülmesiyle hem bu kayaçların katılaştıkları dönemde hangi enlemde oldukları, hem de kutupların doğrultusu saptanabilir. Eğer kıtalar kaydıysa manyetik incelemeler bu hareketi ortaya çıkartabilir; çünkü göçleri sırasında büyük olasılıkla kıtaların enlemsel konumları da değişmiştir.

1950'lerde Britanyalı jeolog Stanley Runcorn (doğ. 1922) ve çalışma arkadaşları, Avrupa'daki kayaçların manyetik özelliklerini araştırırken garip birtakım sonuçlarla karşılaştılar. Aynı coğrafi bölgedeki değişik yaşlardan kayaçların manyetik özellikleri incelendiğinde, Dünya'nın manyetik kutupları geçmişte yer değiştirmiş gibi görünüyordu. Bu araştırmadan çıkarılabilecek iki ana sonuç vardı: Dünya'nın coğrafi tarihi süresince ya kutuplar sürüklenerek yerküre üzerinde hareket etmişti ya da kutuplar olduğu yerde kalmış, Avrupa hareket etmişti. Çoğu bilim adamı kıtaları sabit varsayan modele yapışıp kalarak ya verileri güvenilmez bulup reddetti ya da kıtaların değil manyetik kutupların göç etmiş olduğu fikrini benimsedi.

Başka kıtalardaki kayaçların benzer manyetik özellikleri incelendiğinde, buralardaki kutupların da Dünya'nın geçmişteki değişik dönemlerinde, açıkça farklı konumlara sahip oldukları görüldü. Ne var ki, değişik kıtalardan elde edilen verilere göre kutupların izlemiş olması gereken tahmini göç çizgileri Dünya yüzeyinde işaretlendiğinde, birbirleriyle çakışmadılar. Eğer bir tane kutup varsa, aynı dönemde bütün kıtalara göre aynı konumda olması gerektiği açıktı. Eğer kıtalar hareket etmediyse geriye kalan tek açıklama, Dünya'nın geçmişte birden çok manyetik kutbunun olduğuydu ki, bu da pek mümkün görünmüyordu. Öte yandan, tarihin bir döneminde kıtaların Wegener'in Pangaea'da önerdiğine benzer biçimde bitişik olduğu varsayılarak çıkarılan haritada, kutupların farklı kıtalarda izlediği göç

çizgileri çakışıyordu. Bu, kıtaların bir zamanlar gerçekten de birbirine bitişik olup, sonradan ayrı yönlere sürüklendikleri fikrine tamamen uyuyordu. Bu yoruma göre manyetik kutuplar hareketsizdi, kıtalar hareket etmişti. Artık daha çok sayıda bilim adamı kıta kaymasının olası olduğunu düşünmeye başlamıştı, ama birçoklarına bu fikir hâlâ kabul edilmesi güç bir fikir olarak görünüyordu.

Okyanus tabanlarıyla ilgili detaylı bilgi elde edilince kıta kayması kuramı sonunda kabul gördü ve levha tektoniği doğdu. Okyanus tabanına ilişkin bilginin büyük bölümü Bruce Heezen (1924-1977), Henry Menard (1920-1986) ve çalışma arkadaşlarının ABD'de sürdürdükleri araştırmalardan geldi. Okyanus tabanının, karadakilerden kat kat daha görkemli dağları ve çukurluklarıyla ayrı bir dünya olduğu anlaşıldı. Okyanus tabanının belirgin bir özelliği, yerküreyi kıvrılarak dolanan **okyanus ortası sırt sistemi**dir. Bu sırt sistemi 60.000 kilometre boyunca uzanan engebeli yapılardan oluşur; bu yapıların genişliği yüzlerce kilometreyi bulur, yükseklikleri ise 4500 metreyi aşar. Okyanus ortası sırt sistemi, depremlerin ve volkanik etkinliklerin sıkça görüldüğü bir yerdir. Volkanik etkinliklerin çoğu okyanus tabanında meydana gelir: Sırt boyunca, içinde ergimiş lav bulunan dik yamaçlı vadiler uzanır. Bazı yerlerde, örneğin İzlanda'da yanardağlar deniz seviyesinin üstündedir. Sırtlar, tamamen kesintisiz değildir: Aralıklarla sırtı dik açıyla kesen ve **kırılma bölgeleri** adı verilen sırtlar ve çukurluklar dikiş izini andıran bir desen oluşturur. California'daki San Andreas Fayı kırılma bölgesine bir örnektir.

Okyanus tabanlarının göze çarpan bir başka önemli özelliği de, derinlikleri beş kilometreyi aşan **çukurluklar**dır. Sırt sistemi gibi buralar da depremlere ve yanardağlara ev sahipliği yapar. Okyanusların en derin bölgeleri çukurlukların olduğu yerlerdir. Çukurlukların, Pasifik Okyanusu'ndaki Aleut Adaları'yla ilişkilendirilen çukurluklar gibi, genellikle takımadalarla bağıntılı olduğu düşünülür.

Okyanus tabanının jeofiziğinin bu özelliklerini açıklayabilmek için çeşitli kuramlar öne sürüldü. İlk fikirlerden biri, Dünya'nın genleşmekte olduğu ve bunun deniz tabanının çatlamasına yol açtığı şeklindeydi; ama bu kuramı destekleyen bir kanıt yoktu. ABD'li Harry H. Hess'in (1906-1969) "deniz dibi yayılması" varsayımı ise yaygın kabul gördü. Deniz dibi yayılması varsayımı, okyanus ortası sırtlarının yerkabuğunun ısınması sonucunda meydana geldiğini savunan önceki bir fikrin uzantısıydı. Yerkabuğunun ısınmasına ise Dünya'nın çok yüksek sıcaklıktaki çekirdeğinin mantoyu ısıtmasının neden olduğu düşünülüyordu. Hess'in düşüncesine göre, yerkabuğu akışkan olan mantonun üstünde "yüzmektedir". Mantoyu oluşturan malzeme ısındıkça yükselir ve yerkabuğunun da ısınmasına yol açar; bu da kabuğun genleşmesine ve zayıf bölgelerinin çatlamasına neden olur. Mantoyu oluşturan malzeme bu çatlaktan yükselir ve ergimiş lav halinde okyanus tabanına sızıp yayılır. Akışkan lav çatlağın içerisinde yükselirken, çatlağın her iki yanındaki kabuğu dışa doğru iter. Lav çatlağın kenarlarından dışarı akar ve çatlağın merkezinden uzaklaştıkça soğur. Bu soğuma esnasında katılaşır ve var olan okyanus kabuğunun üstünde yeni bir tabaka meydana getirir.

Hess'e göre Dünya genleşmiyordu; bu da (okyanus ortası sırtlarının tepe noktalarını meydana getiren) çatlaklardaki yeni kabuk oluşumunun, bir başka yerdeki kabukta bir kayıpla dengelenmesi gerektiği anlamına geliyordu. Hess, deniz dibindeki çukurlukların, deniz tabanı kabuğunun yıkıma uğradığı yerler olduğunu öne sürdü: Okyanus sırtlarındaki deniz dibi genleşmesi, deniz tabanı kabuğunun çukurluklardaki mantonun içine doğru itilmesine neden olmuştu. Bu kuram, yaşı üç buçuk milyarı aşkın kıta kayaçları bulunduğu halde, deniz tabanından çıkarılan kayaçların yaşının neden hep çeyrek milyonun altında olduğunu da açıklıyordu. Okyanus tabanı genç kayaçlardan oluşmaktaydı, çünkü altındaki mantodan çıkan lavın katılaşmasıyla sürekli olarak yenileniyordu. Eski okyanus kabuğu da ay-

nı zamanda çukurluklardaki mantonun içine doğru itiliyor ve orada ergiyordu.

Hess'in kuramı ayrıca okyanus tabanındaki kayaçların yaşının, okyanus ortası sırtlarının merkezinden uzaklaştıkça artmasını gerektiriyordu, çünkü taze lav bu bölgede ortaya çıkıyor ve milyonlarca yıl boyunca, yavaş yavaş dışa doğru yayılıyordu. Bir başka deyişle, en genç kayaçların sırtların tepe noktalarında, en yaşlıların ise çukurluklarda bulunması gerekiyordu. Hess'in kuramı, kıta kaymasının işleyişine ilişkin akla yakın ilk açıklamayı da getirmişti: Okyanus tabanları sırtlarda yenilenir ve çukurluklarda yıkıma uğrarken, tıpkı döner kayış üzerinde taşınan cisimler gibi kıtaları da beraberinde sürüklüyordu.

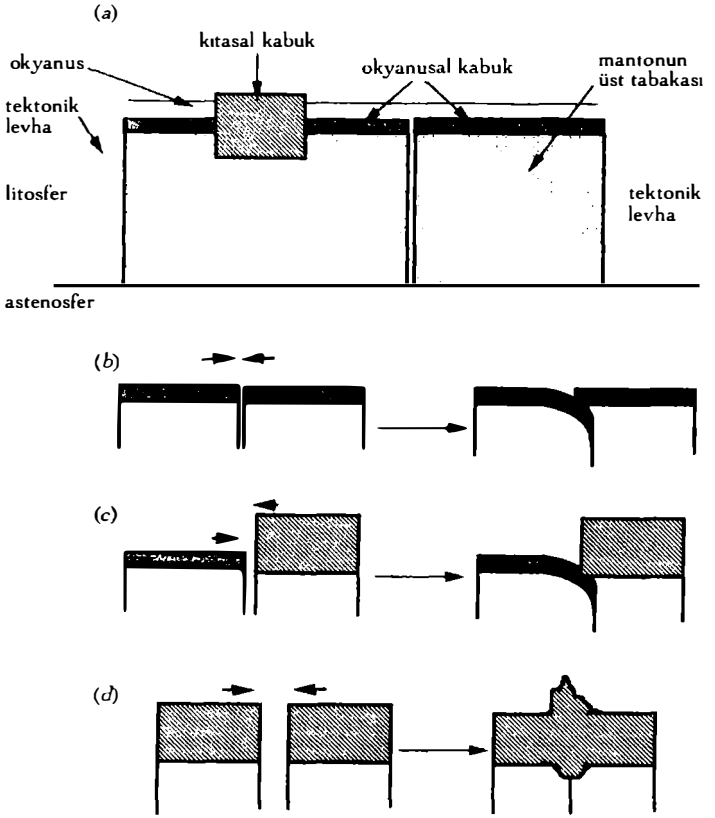
Deniz tabanındaki kayaçların manyetik özelliklerine bakarak yaşlarını belirlemek mümkün olduktan sonra, artık deniz dibi yayılması için gereken kanıtların ortaya çıkması yakındı. Bu gelişme sırtların ve çukurlukların her iki kenarındaki kayaçların yaşının hesaplanabilmesini sağladı. Elde edilen veriler, Hess'in öne sürdüğü fikirlere kusursuz biçimde uyuyordu. Deniz tabanının yenilenme ve yayılma hızları ölçüldüğünde, Wegener'in on yıllarca önce önerdiği kıta kayması fikri için düşünülen değerlere gerçekten de çok yakın oldukları görüldü. Bu, kıtaların gerçekten de kaymakta olduğunun ve bunun, en azından kısmen komşu kıtaları birleştiren okyanus tabanındaki yenilenme ve yıkım döngülerine bağlı olarak gerçekleştiğinin açık bir göstergesiydi.

1960'ların sonuna doğru Britanyalı iki jeofizikçi Dan McKenzie (doğ. 1942) ve Robert Parker (doğ. 1942) ve onlardan ayrı olarak ABD'li jeofizikçi Jason Morgan (doğ. 1935) kıta kaymasını anlamamıza, kıtalar ve okyanus tabanlarına ilişkin bilgimize katkıları olmuş Wegener'in, Hess'in ve diğer jeofizikçilerin fikirlerini birleştirdiler. Dünya'nın, kıtasal ve okyanusal kabuklara ek olarak mantonun üst bölgelerinden de oluşan çok sayıda levha içerdiğini (yaklaşık bir düzine büyük, çok sayıda da küçük levha vardır) öne sürdüler. Yani bu levhalar sadece

kabuktan ibaret değildir, manto malzemesi de içerirler. Dünya'nın levhaları kapsayan tabakasına **litosfer** (taşküre) adı verilir. Levhalar yaklaşık 100 kilometre kalınlıktadır; sınırları okyanus ortası sırtları, okyanus dibi çukurlukları ve kırılma bölgeleri tarafından çizilir. Altlarındaki **astenosfer** (üstmanto) adı verilen manto tabakası üzerinde yüzerler ve içlerinde sadece kıtasal kabuk, sadece okyanus tabanı kabuğu veya her ikisini birden barındırabilirler. Kıtalar ve okyanus tabanları, bu yüzen levhalar tarafından bir sal üstündeki cisimler gibi taşınır. Tektonik levhalar parçalandıklarında, eski kıtalardan çok sayıda yeni kıta meydana gelebilir; bunlar ise zaman içerisinde, Pangaea parçalara ayrıldığında olduğu gibi birbirlerinden uzağa sürüklenebilir.

İki levhanın birbiriyle çarpışması sonucunda olacaklar, levhaların ayırıcı özelliklerine bağlıdır (Şekil 18). Eğer çarpışan iki levhanın kenarları okyanusal kabuktan oluşuyorsa, bunlardan herhangi biri diğerinin altına dalacaktır. Bir levhanın kıtasal kenarı bir başkasının okyanusal kabuğuyla çarpıştığında ise okyanusal levha hep kıtasal levhanın altına dalar. Çünkü kıtasal kabuğun yüzebilirliği okyanus tabanı kabuğununkinden daha fazladır, dolayısıyla kıtasal kabuk her zaman okyanus tabanının üstüne çıkar. Eğer çarpışan iki levhanın her ikisinin de kenarı kıtasal kabuktan meydana geliyorsa, yüzebilirliklerinin yüksekliğinden ötürü ikisi de batmayacaktır; bunun yerine, sınırdaki sıkışma sonucunda sıradağlar meydana gelebilir. Himalayalar böyle bir karşılaşma sonucunda ortaya çıkmıştır. İki kıta çarpıştıkları zaman, birleşip tek ve daha büyük bir kıta haline de gelebilirler.

İki levha birbirinden uzaklaştığında, alttaki mantodan yukarıya doğru yavaş yavaş ergimiş kayaç malzemesi sızar ve aradaki boşluğu doldurur; okyanus ortası sırtlarında böyle olur. Çukurluklarda ise bir levhanın dibe dalan kenarındaki okyanus tabanı kabuğu yıkıma uğrar ve eriyip zamanla yeniden taze okyanus kabuğuna dönüşmek üzere astenosferin içine karışır. Yani

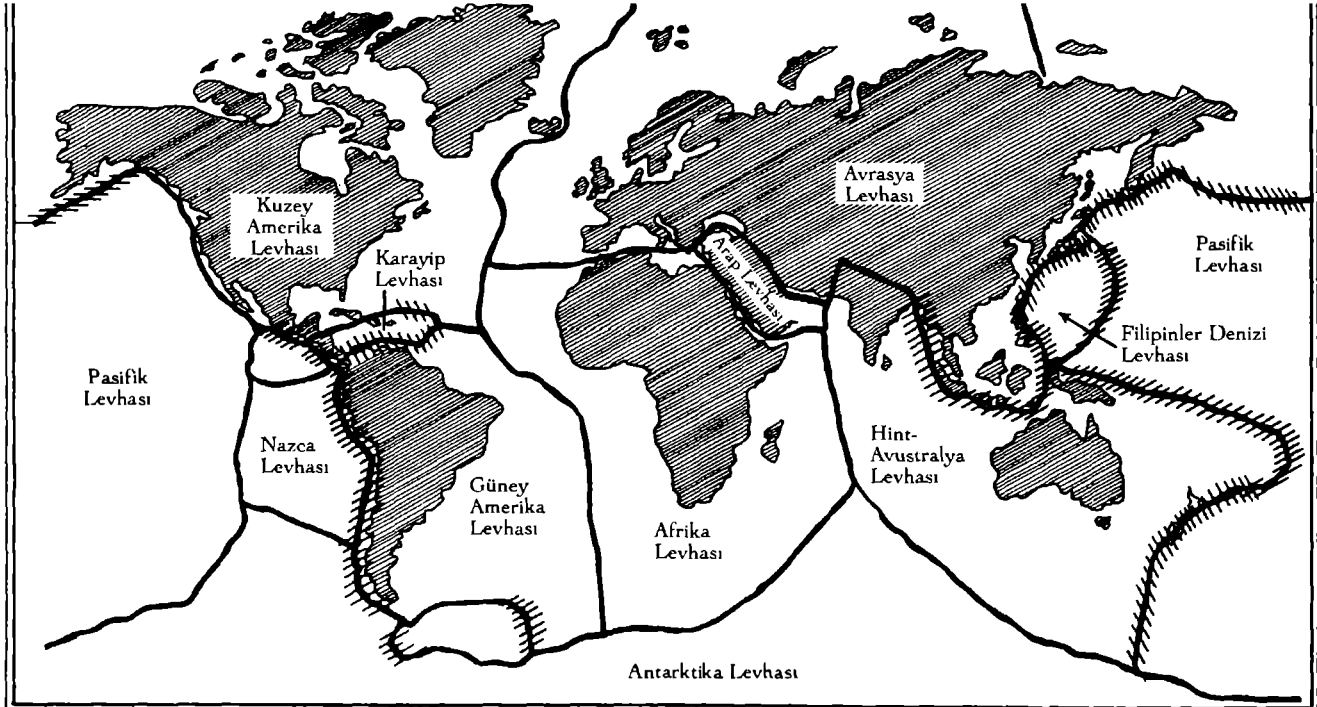


Şekil 18. Tektonik levhalar arasındaki çarpışmalar: (*a*) Levhaların her biri litosferin bir bölgesinden (kabuk+mantonun üst tabakası) oluşur ve altındaki mantonun (astenosfer) üzerinde yüzer. Levhalar okyanusal kabuk, karasal kabuk ya da her ikisini birden içerebilir. (*b*) Çarpışan levhaların her ikisinin de kenarı okyanusal kabuktan oluşuyorsa, kenarlardan biri diğerinin altına dalar. (*c*) Kenarlardan biri okyanusal kabuktan, diğeri kıtasal kabuktan oluşuyorsa, yüzebilirliği daha az olan okyanusal kenar kıtasal kenarın altına dalar. (*d*) Her iki kenarın da kıtasal olduğu durumda, kıtasal kabuğun yüzebilirliği dalmaya izin vermeyecek denli yüksek olduğu için, dağlar oluşur.

okyanus tabanı, levhaların çarpışması ve birbirinden uzaklaşması sonucunda kendini sürekli olarak yenilemektedir. Kıtalar çatladığında astenosferdeki ergimiş lav, çatlağı doldurmak üzere yükselir. Bu lav bazalttan oluştuğu için soğuduğunda okyanus tabanı oluşturur; yani yeni okyanus tabanı, çatlağın olduğu yerde şekillenir. Bu, bir kıtanın, arası okyanusla ayrılmış iki yeni kıtaya bölünmesine olanak sağlar.

Okyanus tabanı malzemesindeki net artış temelde sıfırdır; çünkü her yeni okyanus tabanı oluştuğunda, bir başka yerde buna eşit miktarda yaşlı okyanus tabanı mantonun içerisine dalarak yıkıma uğrar. Ama bu, bir sırttaki yeni okyanus tabanı oluşumu, sınırları bu sırtı oluşturan levhalardaki okyanus tabanı kaybıyla dengelenir demek değildir. Yaşlı okyanus tabanının yıkıma uğramasıyla taze okyanus tabanının üretilişi aynı hızda olduğu sürece, geri dönüşüm süreçleri başka levhaların sınırlarında da görülebilir. Örneğin, Kuzey Amerika'yı ve Güney Amerika'yı taşıyan levhaların sınırındaki Atlantik Ortası Sırt Sistemi'nin kendi içinde çukurlukları yoktur. Bu sırtta taze okyanus kabuğu oluşumu, Amerika kıtalarının batı kıyılarını sınırlayan Pasifik levhalarındaki kabuk kaybıyla dengelenir. Böylelikle, Amerika kıtalarını içeren levhaların alanı, Pasifik levhalarının küçülmesi pahasına büyümektedir.

Levhalar çarpışmak veya uzaklaşmak yerine, yatay olarak birbirlerine sürtünerek de hareket edebilir: Bu durumun en sık rastlanan sonucu depremlerdir. Levhaların birbirine sürtünerek kaydığı yerlerde kırılma bölgeleri meydana gelir. Depremler, Dünya'daki taşküresel levha hareketinin yoğun olduğu başka yerlerde de ortaya çıkabilir. En çok görüldükleri bölgeler, iki levhanın birbirinden uzaklaştığı okyanus ortası sırtları ile bir levhanın diğerinin altına daldığı çukurluklardır. Kayıtlara geçmiş belli başlı depremler Dünya haritası üzerinde işaretlendiğinde levha sınırlarına denk düştükleri açıkça görülür (Şekil 19). Benzer şekilde, yanardağlar da levha sınırlarını çok yakından izler. Yanardağlar, iki levhanın çarpıştığı (ve dağları oluşturduğu) yerlerde ve kıtaların birbirine sürtünerek kaydığı yerlerde değil, levhaların birbirinden uzaklaştığı ve çarpışma sonrasında bir levhanın diğerinin altına daldığı bölgelerde oluşur. Bir levhanın okyanusal kenarı başka bir levhanın altına daldığında, okyanus kabuğunun ve okyanus tabanı tortusunun bir bölümü manto içerisinde erir; bu erimiş maddeler yüzeye doğru yükselme eğilimi gösterir ve etkin yanardağları yaratır. Ja-



Şekil 19. Yanardağlar ve depremler çoğunlukla tektonik levhaların kenarlarında ve yakınlarında meydana gelir. Şekilde levha sınırları kalın çizgilerle, çukurluklar ise bunları kesen kısa çizgiler halinde gösterilmiştir.

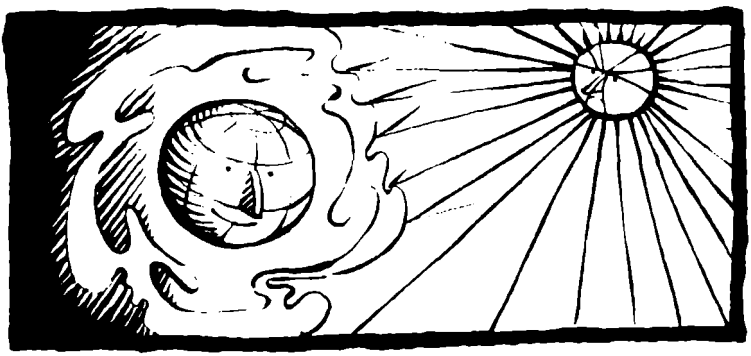
ponya'da ve Aleut Adaları'nda bu türden levha sınırını izleyen çok sayıda yanardağ bulunur. Yanardağlar, levhaların birbirinden uzaklaştığı ve magmanın yükselerek yüzeye çıktığı yerlerde de oluşur; Pasifik levhalarının doğusundaki ve İzlanda'daki yanardağlar bunlara örnektir.

Tektonik levhaların varlığına ilişkin hatırı sayılır miktarda kanıt vardır; levhaların çarpışmasının, ayrılmasının ve kaymasının sonuçları Dünya'nın birçok yerinde açık seçik görülebilir. Tektonik levhalar bu süreçlerden günümüzde de geçiyor, gelecekte de geçmeyi sürdürecek. Kıtalar sürüklenmeye devam edecek. Nitekim, bütün kıtaların yüzlerce milyon yıllık bir zaman içerisinde tekrar bir araya geleceği öne sürülmüştür. Böylelikle oluşacak süperkıtaya, bazı jeofizikçiler tarafından isim bile bulunmuştur: **Neopangaea**. Eğer Neopangaea gerçekten de oluşursa, sonradan kuşkusuz tekrar parçalanacak ve parçalar, bugünkünden tamamen farklı bir coğrafya oluşturacak şekilde birbirinden uzağa sürüklenecektir.

İnsanlar bunca zamandır ulusların arasına yapay, politik ve fiziksel sınırlar çizdiler; ama Dünya'daki sınırları asıl yüzlerce milyon yıl boyunca kıtaların parçalanmasına, parçaların birbirinden uzağa sürüklenmesine yol açan, hatta belki de gelecekte onları tekrar birleştirecek olan doğal süreçler oluşturur.

X. Bölüm

Soda, Flojiston ve Lavoisier'nin Oksijeni



Levha tektoniği kuramı, Dünya'nın jeofizik özelliklerinin en önemli yönlerinden bazılarını açığa çıkardı. Ayrıca Dünya'nın jeolojik tarih içindeki durumu bağlamında, yaşamın evriminin daha iyi anlaşılabilmesini sağladı. Ne de olsa, kıtasal karalar ve okyanuslar hemen hemen bütün bitkilerin, hayvanların yaşam alanlarıdır. Dolayısıyla da levha hareketlerinin ve bunların etkilerinin (örneğin yanardağlar, depremler, dağların şekillenmesi, okyanusların yenilenmesi ve yok olması), Dünya'daki yaşamın evrimine çok büyük etkisi olmuş olmalıdır.

Yaşamın bugünün çok farklı türlerine doğru evrimi, atmosferde oksijenin ortaya çıkışına da dayanıyordu. Soluduğumuz havanın hacminin beşte biri oksijendir. O olmadan, yediğimiz besinlerdeki enerjiyi kas hareketi, büyüme ve başka bedensel işlevler için gereken metabolik enerjiye dönüştüremeyiz. Oksijen

hidrojenle birleşerek suyu (H_2O), yani büyük olasılıkla Dünya'daki yaşamın içinde başladığı ve bağımlı olduğu ortamı yaratır. Oksijen tek başına veya başka elementlerle beraber, yerkabuğunda en bol bulunan elementtir. Kozmosta ise hidrojen, helyum ve neonun ardından en sık rastlanan dördüncü elementtir. Atmosferin üst tabakalarında, oksijen Güneş'in morötesi ışınları tarafından ozona dönüştürülür. Ozon zararlı morötesi ışığı emdiği için, yeryüzündeki yaşamı koruyan bir örtü işlevi görür. Bu değerli ozon tabakasının insanlar tarafından yok edilmesini engellemek amacıyla neler yapılabileceğini kavrayabilmek için, oksijen ve onun ozona çevrilme hızını belirleyen etmenler üzerine bilgi edinmemiz çok önemli ve gereklidir.

Maddeler yandığında (ve metaller karardığında) havadaki oksijenle birleşirler. Ateşin büyük olasılıkla insanın ilk buluşlarından biri olmasına ve oksijenin bize hayat veren havanın esas bileşeni olduğu gerçeğine karşın, oksijenin keşfedilmesinin üstünden daha ancak iki yüzyıl geçmiştir. Bu keşif önemli bir adımdı, çünkü maddelerin nasıl yandığını açıklıyordu ve kimya araştırmalarında bir dönüm noktasıydı. Ayrıca çağdaş biyokimyanın, yani yaşamın kimyasının geliştirilmesinde de önemli bir aşamaydı ve kimyanın biyolojinin alanına girmesini sağladı. Haklı olarak, oksijenin tarihinin yaşamın tarihi olduğu söylenir.

Ne gariptir ki, oksijenin keşfinin önemi, bu keşifte rol oynayan bilim adamlarının bazıları tarafından tam olarak anlaşılamadı. Eldeki deneysel gözlemleri doğru olarak açıklamak için parlak bir Fransız kimyacının, Antoine-Laurent Lavoisier'nin (1743-1794) dehası gerekti. Lavoisier'nin oksijen üzerine çalışmaları ve bu çalışmaların kimyanın diğer alanlarına etkisi o kadar büyüktü ki, Lavoisier günümüzde çağdaş kimyanın babası olarak tanınıyor.

Oksijenin Dünya'daki yaşam için değeri, bugün çoğu insan tarafından gereğince bilinmiyor. Oksijenden yaygın olarak endüstride de örneğin çelik üretiminde ve tıpta oksijen çadırların-

da, soluk alma aygıtlarında ve yeni doğmuş ve erken doğmuş bebekler için kullanılan kuvözlerde de yararlanılıyor. Sıvı oksijen ise roket yakıtı olarak, Dünya'nın ötesindeki dünyaları araştırmada insana yardım ediyor.

Oksijenin keşfi, deneysel bulgular eski kuramlarla artık uyuşmadığında, var olan bilimsel fikirlerin yerlerini yenilerine terk etmesi gerektiğine ilişkin kusursuz bir örnek oluşturur. Ayrıca, maddelerin kimyasal tepkimelerden önceki ve sonraki miktarlarını ölçme yöntemleri geliştirmenin, on sekizinci yüzyılın sonlarına doğru kimyacılar için ne kadar önemli olduğunu gösterir. Kimyasal maddelerin ağırlıklarının hassas ve doğru olarak ölçümü ve bu ağırlıkların kimyasal süreçler esnasında nasıl değiştiğini göstermesi, Lavoisier'nin bilime yaptığı en esaslı katkılardan biriydi. Ama belki de asıl önemli olan, oksijenin keşfinin ve bu keşfin çağdaş kimya, tıp ve teknoloji üzerindeki etkilerinin, bilim adamlarının merakından ve doğal dünyayı anlayabilme çabalarından kaynaklanmış olmasıdır.

Flojiston ve Oksijenin Keşfi

Ateş insanın varoluş sürecinde öyle önemli bir yer tutuyordu ki Eski Yunan filozofları, özellikle de Aristoteles (MÖ 384-322) ateşi toprak, hava ve su ile birlikte dünyayı meydana getiren dört temel elementten biri sayıyordu. Yıldızların ise beşinci bir elementten, esirden oluştuğu düşünülüyordu. Alevlerin yanan bir cisimden dışarı "kaçtığı" gayet açıktı, böylece yanma işleminde cisimden dışarıya bir "yanıcı madde" salındığı fikri ortaya çıktı. Alman hekim Georg Ernst Stahl (1660-1734) bu fikri daha da geliştirerek 1702'de **flojiston kuramını** ortaya attı. Stahl'a göre, flojiston (Yunanca "yanıcı" anlamına gelen sözcükten) yanma özelliğine sahip bütün cisimlerde mevcuttu ve bu nesneler yandığında açığa çıkıp havaya karışıyordu. İyi yanan maddelerin içinde çok miktarda flojiston bulunduğu, iyi yanmayanların ise çok az miktarda flojiston içerdiği düşünülüyordu.

Flojiston kuramı yapılan birçok gözlemi açıkladığı ve her maddenin yanmasında rolü olan birleştirici bir ilke -flojiston- içerdiği için kullanışlıydı. Yandıklarında birçok maddenin ağırlıklarının azalması gerçeğiyle de uyuşuyordu. Örneğin odun yandığında, ağırlığı kendinden daha az olan odunkömürüne ve küle dönüşür. Ama bazı metallarin, havayla temas halindeyken uzun süre ısıtıldıklarında, ağırlıklarının arttığı da bilinmekteydi. Eğer bu maddeler flojiston salıyorsa, o zaman flojistonun eksi ağırlığa sahip olması gerekmez miydi. Dönemin çoğu bilim adamı, bu açık tutarsızlıktan hiçbir rahatsızlık duymadı: Flojiston birçoklarınca ağırlığı olan bir maddeden çok, ışıkla veya kütleçekimiyle karşılaştırılabilecek bir kimyasal "öz" olarak algılanıyordu.

Her ne kadar birçok bilim adamı yanma sırasında salınan flojistonu emmek ve yaymak için hava gerektiğini öne sürmüşse de, flojiston kuramı yanma işlemi için havanın neden gerekli olduğunu pek açıklayamıyordu.

Birçok bilimsel kuram gibi flojiston kuramı da kendi dönemi için kullanışlıydı, ama eldeki deneysel bulguları daha iyi açıklamayı başaran yeni kuramlarca tahtından indirilmesi de kaçınılmazdı. Bu, bilimsel sürecin doğal bir parçasıdır; sonunda yararsız görülüp bir kenara atılan birçok kuram, bilimin ve insanın gelişiminde temel önemde rol oynamıştır. Kuramlar deneysel olarak sınanabilecek varsayımların yolunu açar, yeni deneysel sonuçlar da yeni kuramlar üretilmesine yol açar. Bilim, işte böyle ilerler. Kuramların işe yaramadıkları söylenemez, ama bize dünyanın gitgide daha net bir görüntüsünü verebilmeleri için sürekli düzeltilmeleri ve geliştirilmeleri gerekir.

Oksijen iki ayrı kimyacı tarafından, birbirlerinden bağımsız olarak keşfedildi: Britanya'dan Joseph Priestley (1733-1804) ile İsveç'ten Carl Wilhelm Scheele (1742-1786). Scheele keşfini 1772'de yaptı, ama çalışmasını 1777'ye kadar yayımlamadı; Priestley ise keşfini 1774'te yaptı ve bulgularını 1775'te yayımladı. Dolayısıyla oksijenin keşfi onuru, başlangıçta yalnızca Priestley'ye aitti.

Priestley Yorkshire'da (İngiltere) doğdu. Kimyaya olan ilgisi fen öğretmenliği yaparken gitgide arttı. 1758'de Cheshire'da bir gündüz okulu açtı ve öğrencilerine günün en ileri bilimsel gereçlerini kullanma olanağı sağlayarak fen eğitiminde büyük başarı kazandı. 1763 ve 1768 yılları arasında kimya ile ilgili konferanslara ve deneylerin uygulamalı olarak anlatıldığı toplantılara katıldı. Londra'da Benjamin Franklin ile tanıştığındaysa bilime duyduğu coşkulu ilgi iyice kamçılanmıştı.

Priestley 1767'de bir kilise papazı olarak Yorkshire'a geri döndü. Bir bira fabrikasının hemen yanı başında oturuyordu ve oraya gidip mayalanma sırasında fıçılardan çıkan gazı yani "hava"yı biriktiriyordu. Bugün karbon dioksit adıyla bildiğimiz bu gazın suda çözünebileceğini ve tadı hoş, köpüklü bir içecek üretilebileceğini fark etti. Keşfettiği, sodadan başka bir şey değildi.

Priestley, o dönemde zaten bilinmekte olan üç gaza (karbon dioksit, hidrojen ve hava) ek olarak on gaz daha keşfetti. Bunlardan biri olan diazot monoksit (güldürücü gaz) sonradan ameliyatlarda kullanılan ilk anesteziklerden biri oldu. Priestley diazot monoksiti bulduktan iki yıl sonra da oksijeni yalıttı.

Priestley'nin oksijeni buluşu, 1774'te (o dönemde cıva kireci diye bilinen) cıva oksiti kapalı bir kapta ısıttığında bir gaz çıktığını gözlemlemesiyle oldu. Bu renksiz gazın, kızgın odunun kıvılcımlar saçmasına ve mumun normal havada yandığından çok daha parlak bir alevle yanmasına neden olduğunu fark etti. Priestley, içindeki normal havayı soludukları kapalı bir kutuya konan farelerin, eğer taze hava verilmezse bir süre sonra öldüklerini önceden göstermişti. Ardından da, farelerin cıva kirecinin ısıtılmasıyla elde edilen yeni gazda, normal havaya oranla çok daha uzun süre hayatta kaldıklarını buldu. Aynı gazı kendi ciğerlerine çektiğinde, içi hoş bir duyguyla doldu. "Ardından bir süre, göğsümde özellikle bir hafifleme ve rahatlama hissettim. (.....) Şu ana kadar bunu soluma ayrıcalığı, sadece iki fareye ve bendenize nasip oldu." diye yazdı Priestley.

Günümüzün bilgileri ışığında ve flojiston kuramının yokluğunda, bu buluşu basit bir biçimde yorumlamak bizim için gayet kolay: Cıva kireci ısıtıldığında bir gaz (oksijen) salar ve bu gaz yanmayı ve solunumu besler.

Ama Priestley flojistonun o denli etkisi altındaydı ki, bulduğu sonuçları tamamen farklı bir şekilde yorumladı. Ona göre, cıva kireci ısıtıldığında havadan flojiston alıyordu. Flojistonsuz kalan havada, artık eskisinden daha da çok flojiston alabilecek yer vardır; dolayısıyla bu hava yanmayı (bir maddeden flojiston salınması) ve solunumu (flojiston üretimi ve bunun hayvanın verdiği nefesle salınması) daha kolay besler. Cıva kirecinin ısıtılmasının Priestley'ye göre yorumu şöyle özetlenebilir:

Cıva kireci + normal hava → flojistonsuz hava + cıva

Aklı flojistonla dolu olan Priestley'nin yeni bir gazın (oksijenin) varlığını gündeme getirmeye gereksinimi yoktu. Elindeki sonuçların, mevcut fikirlerle açıklanabileceğini düşünüyordu: Çevremizdeki "normal hava" bir miktar flojiston içerir, ama daha fazlasına da yer vardır, bu sayede cisimlerin yanmasına ve hayvanların solumasına (yani içlerindeki flojistonu çıkarmalarına) olanak verir. Hayvanlar kapalı bir kutu içindeki normal havayı soluduklarında (veya bir mum aynı koşullar altında yandığında) bu havayı zamanla flojistonla doymuş hale getirirler. Bu "flojistonla doymuş" hava artık pek az ek flojiston emebilir ve dolayısıyla yanmayı ve solunumu beslemez hale gelir. Oysa içinde cıva kireci ısıtılarak flojistondan arındırılmış "flojistonsuz hava"da daha bol bol flojiston alacak yer vardır ve bu yüzden yanmayı da, solunumu da gayet iyi besler.

Belki de flojistonla ilgili asıl sorun deneysel gözlemleri açıklamakta yetersiz kalması değil, getirilen en basit açıklama olmamasıydı. Bilim adamları, deneysel sonuçların hepsine birden uyan kuramlar arasında bir seçim yapabilmek için genellikle **Ockham'ın usturası**na başvurur, yani bulguların hepsine bir-

den uyan en basit kuramı kullanırlar. Ockham'ın usturası deyimi bu ilkenin güçlü bir savunucusu olan bir İngiliz filozofun, Ockham'lı William'ın (1285-1349) adından gelir. Flojiston işleri karmaşık hale getiriyordu. Antoine Lavoisier ise hem Priestley'nin gözlemlerini, hem de yanmaya ve solunuma ilişkin mevcut bilgileri açıklayan çok daha basit ve bugün bile geçerliliğini koruyan bir kuramla ortaya çıktı.

Lavoisier ve Flojistonun Ölümü

Oksijeni (flojistonsuz havayı) keşfetmesinden üç ay sonra Ekim 1774'te, Priestley Paris'teki Fransız Bilimler Akademisi'ni ziyareti sırasında Lavoisier'yle tanıştı. Ona cıva kireci üzerine yaptığı çalışmalardan ve bu madde ısıtıldığında ortaya çıkan yeni hava türünden söz etti.

Lavoisier, yanma sürecine zaten çoktandır yoğun ilgi duymaktaydı; ısıtıldığında cıva kirecinin ağırlığının azaldığını ve cıva metaline dönüştüğünü de biliyordu. Lavoisier, çeşitli maddelerin yanmasıyla ilgili çalışmalarına aslında 1772'de başlamıştı. Başka maddelerin yanı sıra fosforun ve sülfürün, sadece yanmak için havaya gereksinim duymakla kalmayıp, bu süreçte ağırlıklarının arttığını da kanıtlamıştı. 1772'de bu maddelerin havayla tepkimeye girdiğini ve havadan bir şey aldığını öne süren kuramını geliştirdi. Bu kuram, havalı bir ortamda yakıldıklarında, cıva ve kurşun da dahil metallerin ağırlığının neden arttığına da açıklık getiriyordu.

Priestley ile tanışması Lavoisier için çok önemli olmuştu. Bu karşılaşma onun yanmaya olan ilgisini büsbütün körükledi ve maddelerin nasıl yandığını daha iyi açıklayabilmesine yardım eden ek bir bilgi -cıva kirecinden flojistonsuz hava üretimi- sağladı. Lavoisier hemen cıva kireci üzerine çalışmaya girişti. Cıvadan cıva kireci üretilmesinin, havanın solunabilir ve yanabilir bölümünün ayrılmasına bağlı olduğunu kanıtladı. Cıva kireci ısıtıldığında ise Priestley'nin de keşfetmiş olduğu gibi, solunabilir ve yanabilir hava üretiliyordu. Uğraşılması daha kolay olan

kalay kireciyle yapılan daha sonraki deneyler, yanma süreci boyunca hava-artı-metal toplam ağırlığında değişme olmadığını gösterdi. Ne var ki, havanın ağırlığı azalırken, metalin ağırlığı artıyordu. Aslında havanın ağırlığındaki azalma, metalin ağırlığındaki artışa eşit miktardaydı: Görünüşe göre, metal havadan bir şey alıyordu.

Lavoisier'nin elde ettiği sonuçlara ilişkin açıklamasında flojiston kavramı yoktu; metal halindeki cıva yandığında havanın bir parçasıyla birleşerek cıva kirecini meydana getirir, diyordu. Cıva kireci ısıtıldığında ise havanın bu aynı bileşenini dışarı verir ve yeniden metal halindeki cıvaya dönüşür. Lavoisier, havanın söz konusu bileşenine "**principe oxygine**" adını verdi; biz şimdi buna oksijen diyoruz:

Cıva metali + Oksijen → Cıva kireci
Cıva kireci → Cıva metali + Oksijen

"Oksijen" sözcüğü Yunanca "asit üretmek" anlamına gelen sözcükten türemiştir. Lavoisier oksijenin tüm asitlerin ortak bileşeni olduğunu düşünüyordu, ama bu yanlıştı.

Lavoisier havanın iki esas bileşenden, oksijen ile şimdi azot dediğimiz ve havanın hacminin beşte dördünü oluşturan bir başka bileşenden meydana geldiği sonucuna vardı.

Lavoisier'ye göre, yanan maddeler havaya flojiston salmıyor, tersine havadan bir şey (oksijen) alıyor ve onunla tepkimeye giriyorlardı. Bu durumda eksi ağırlığa sahip bir şeye, yani flojistona gerek kalmamıştı! Lavoisier'nin oksijen kuramı basit olduğu ve deneysel sonuçları açıkladığı halde, birçok bilim adamı başlangıçta bu kuramı kabul etmeye yanaşmadı; Priestley ise flojistona sonuna kadar bağlı kaldı. Oksijeni keşfeden Priestley'ydi, ama onun elde ettiği sonuçlara doğru açıklamayı getiren Lavoisier oldu.

Sahip olduğu berrak düşünme yetisi, suyun doğasına ilişkin olarak başkalarının yaptığı dencylerin sonuçlarını yorumlarken

de Lavoisier'ye yardım etti. Suyun, hidrojenle oksijenin bileşimi olduğu sonucunu çıkaran ilk bilim adamı oydu. Bu da kimya için dev bir adımdı.

Lavoisier, kimyasal tepkimelerin öncesinde ve sonrasında ağırlıkların ve hacimlerin ölçülmesinin önemini vurguladı ve çalışmaları, onu temel doğa yasalarından birine, **kütlenin** (yani **maddenin**) **korunumu yasası**na ulaştırdı. "Her işlemdeki madde miktarı, işlemin öncesinde ve sonrasında aynıdır." diyordu. Ardından gelen kimya ve fizik çalışmaları için çok büyük önem taşıyan bu yasa, sonradan *Einstein'ın* görelilik kuramı (VI. Bölüm) uyarınca daha da geliştirildi ve maddenin ve enerjinin korunumu yasasına dönüştü. Yani madde ve enerji yaratılamaz ve yok edilemez, ama birbirine dönüştürülebilir.

Lavoisier kimya çalışmalarını ve fikirlerini *Traité élémentaire de chimie* (Temel Kimya Kitabı) adı altında 1789'da yayımladı. Bu eser kimyada yeni bir çağ başlatan anıtsal bir çalışma olarak kabul edilir. Kitap, oksijen kuramının güçlü yanlarıyla flojiston kuramının zayıf noktalarını açıklıyor, buna ek olarak kimyacılar arasında akıl karışıklığına yol açan eski simya terimlerinin birçoğunu da ortadan kaldırıyordu. Lavoisier günümüz kimyasının temeli olan, tek bir standarta bağlı yeni bir kimyasal adlandırma sistemi getirdi.

Joseph Priestley, Fransız ve Amerikan devrimlerini yaşadı; Britanya'da ise politik açıdan tartışmalara yol açan bir şahsiyet oldu. Dinsel görüşleri başına çok dert açtı. Yorkshire'da bir Kalvenci olarak yetişmişti, sonradan da muhalif bir papaz oldu. Michael Faraday gibi Priestley de Anglikan Kilisesi'ne ters düşen dinsel görüşlere sahipti. Dini bütün bir adam olmasına rağmen Hıristiyanlığın öğretilerinden birçoğunu sorguluyordu. 1782'de *History of the Corruption of Christianity* (Hıristiyanlıkta Yozlaşmaların Tarihi) adlı kitabını yayımlamasıyla, yerleşik Hıristiyan inançlarının bir düşmanı olarak ünü daha da arttı.

"Anglikan Kilisesi, Ülke ve Kral" yandaşlarınca Priestley bir baş belası olarak görülmekteydi. 1792'de, düşmanlarından olu-

şan öfkeli bir güruh Priestley'nin evini, kitaplığını, laboratuvarını ve kilisesini yerle bir etti. Priestley Londra'ya taşındı, ama düşmanlık orada bile peşini bırakmadı. Sonunda 1794'te ABD'ye göç etti, orada kendisine bir bilim adamı ve aydın olarak büyük saygı duyuluyordu. George Washington'la (1732-1799) ve iki başkanla daha -John Adams (1735-1826) ve Thomas Jefferson (1743-1826)- dost oldu. Pennsylvania Üniversitesi'nde kimya profesörlüğü de dahil olmak üzere, çeşitli akademik ve dinsel görev önerilerini geri çevirerek, yaşamının son on yılını emekli olarak geçirdi.

Priestley'nin İngiliz zulmünden kaçtığı yıl, Lavoisier daha da kötü bir kaderle karşılaştı. Lavoisier biri bilim adamlığı, diğeri Fransa kralı XVI. Louis adına vergi memurluğu olmak üzere iki ayrı mesleği birlikte yürütüyordu. 1789'daki Fransız Devrimi'nden beş yıl sonra, başka vergi memurlarının yanı sıra Lavoisier de devrim yandaşları tarafından tutuklandı. 1794'te yapılan bir toplu mahkemede ölüm cezasına çarptırıldı ve aynı gün idam edildi. Ceza kararıyla ilgili olarak birisi şöyle demişti: "Devletin aydınlara gereksinimi yoktur". Cesedi bir toplu mezara atıldı. Dünya ona çok şey borçludur: Lavoisier bilimsel düşüncede devrim yarattı, bize oksijeni tanıttı ve bununla pek çok gelişmenin yolunu açtı. Fransız matematikçi Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) şöyle demişti: "O kafayı gövdeden ayırmak bir anlık işti; onun gibi bir tane daha yaratmak içinse, belki bir asır bile yetmeyecek."

XI. Bölüm

Bira, Sirke, Süt, İpek ve Mikroplar Üzerine



Gerçi çağdaş kimyanın babası Antoine Lavoisier giyotinin ölümcül bıçağına kurban gitti ve on dokuzuncu yüzyılın doğuşunu görecek kadar yaşamadı, ama onun ve başka on sekizinci yüzyıl kimyacılarının özellikle de oksijen üzerine gerçekleştirdikleri çalışmalar, bilim adamlarını yaşamın kimyasını araştırmaya heveslendirdi. On dokuzuncu yüzyılın başlarına gelindiğinde birçok bilim adamı, yalnızca canlı sistemlere özgü "yaşamsal" bir güç olduğu şeklindeki eski fikri yavaş yavaş terk etmekteydi. Artık birtakım bilim adamları yaşamın, cansız maddelerle eninde sonunda aynı kimyasal ve fiziksel ilkelere dayandığını, dolayısıyla da fiziksel ve kimyasal çözümlemelerle incelenebileceğini düşünmeye başlamışlardı.

On dokuzuncu yüzyıl başlarında kimyada ve fizikte müthiş gelişmeler kaydedilirken biyolojideki ilerlemeleri bunun epey

gerisinde bırakan etkenlerden biri, bu belirsiz ve gizemli " yaşamsal" güce duyulan inançtı. Ama on dokuzuncu yüzyıl sonlarına doğru artık biyoloji de bu alanda atılan çok sayıda dev adım sayesinde sağlam bir bilimsel temele oturmuştu. Darwin (1809-1882) hayvan ve bitki türlerinin kökeniyle ilgili düşüncelerimizi kökünden değiştiren doğal seçilim ve evrim kuramını öne sürdü. Hücrelerin tüm canlıların yapıtaşı olan temel birimler olduğunu savunan hücre kuramı, bilim adamlarının bitkileri ve hayvanları başka bir açıdan görmesini sağladı. Kalıtsal özelliklerin ana babadan yavruya nasıl aktarıldığını birçok yönüyle açığa kavuşturan Mendel'in kalıtım yasaları keşfedildi. Kendiliğinden türeme, yani mikropların ve başka yaratıkların, örneğin kurtçukların çürüyen hayvansal ve bitkisel maddeden yaratıldığı fikrinin doğru olmadığı kanıtlandı ve hastalığın mikrop kuramı sonunda kabul edildi. Bu büyük ilerlemeler arasında kendiliğinden türeme fikrinin çürütülmesi ve hastalığın mikrop kuramı, bakteri ve virüs kökenli hastalıkların tanınması, engellenmesi ve iyileştirilmesi yönünde tıp alanında daha sonra kaydedilen ilerlemeler açısından özel bir önem taşımaktaydı. Bütün bunların ortaya çıkmasında ana rollerden birini üstlenen kişi ise gelmiş geçmiş en başarılı ve parlak bilim adamlarından biri, Louis Pasteur'dü.

Fransız kimyacı Louis Pasteur'ün (1822-1895) başardığı şeylerin sayısı öyle çok ve bunların insanlığın ilerlemesinde tuttuğu yer öyle önemli ki, sözcükler Pasteur'ün hak ettiği övgüyü ifade etmekte gerçekten de yetersiz kalıyor. Bu büyük adamın buluşları yaşamımızın her gününü, her yönden etkilemekte. Günümüzde ameliyatlar Pasteur'ün çalışmaları sayesinde enfeksiyon tehlikesi olmadan gerçekleştirilebiliyor. Bakteri kökenli hastalıklar Pasteur'ün araştırmalarının bir sonucu olarak antibiyotiklerle iyileştirilebiliyor. Virüslerin neden olduğu hastalıklara karşı yapılan aşılar için de Pasteur'e çok şey borçluyuz. Her kanalizasyon şebekesi, her şehir suyu şebekesi, aslına bakılırsa akla gelebilecek her türlü sağlık koruma yöntemi şu

veya bu biçimde Pasteur'ün çalışmalarının izlerini taşır. Hatta içtiğimiz şarabın, biranın, sütün ve yediğimiz işlenmiş besinlerin niteliklerini de Pasteur'e borçluyuz. Louis Pasteur insanlığı bulaşıcı hastalık felaketinden kurtaran bir avuç insan arasında, muhteşem ve ölümsüz, dimdik ayakta durmakta. Kendisi hiç tıp eğitimi görmemiş olduğu halde, tıbba olan katkıları bu alanda şimdiye dek yapılmış en büyük katkılar arasında yer alıyor.

Pasteur çağdaş mikrobiyolojinin temelini attı ve aynı zamanda hastalıklarla ilgili, şimdi bize tamamen saçma gelen, çok eskilerden kalma ve direngen fikirleri ortadan kaldırdı. Bu zamanı geçmiş fikirler, bakteri kökenli hastalıklar üzerine daha geniş bilgi sahibi olmamızı engellemekteydi. Ancak Pasteur doğruları göz önüne serdikten sonra, yüzyıllardır insanlığın başına bela olmuş bulaşıcı hastalıkların tedavisi ve önlenmesinde önemli ilerlemeler kaydedilebildi. Pasteur'ün çalışmalarının yeryüzündeki her insan için böylesine önem taşıyan meyveleri, onun derin merak duygusundan ve doğayı anlama çabasından doğmuştur. Pasteur'ün çalışmaları hepimize, hastalık ve ölümün, insanlığın uğradığı büyük yıkımların, bir bilim adamının kuramsal bilgi arayışı sayesinde hafifletilebileceğini kanıtlıyor. Louis Pasteur'ün hayatı, bilimde gerçekleştirilen en yetkin ve geniş kapsamlı uygulamaların, görünüşte gizemli konuların tutkuyla üzerlerine gidilerek incelenmesinden doğduğu gerçeğinin en büyük kanıtı olarak önümüzde duruyor.

Pasteur ve çağdaşları için, insan hastalıklarının kendine özgü özellikleri (belirtileri) olduğu ve bu hastalıkların birçoğunun ("bulaşıcı hastalıklar") bir insandan diğerine geçebildiği apaçık ortadaydı. Veba, tifo, verem, kolera, çiçek ve insanlığı kırıp geçiren başka salgın hastalıkların korkunç belirtileri herkes tarafından bilinmekteydi. Pasteur'ün beş çocuğundan ikisi tifodan ölmüştü, bu on dokuzuncu yüzyılda sık rastlanan bir olaydı. Ölümcül bulaşıcı hastalıklar, hayatın acı gerçeklerinden biriydi. Günümüzde bile, dünyanın az gelişmiş bölgelerinde en çok can kaybına yol açan olayların başında hakkında artık çok şey bil-

diğimiz bulaşıcı hastalıklar gelir. Pasteur ve başka büyük bilim adamları tarafından bize bağışlanmış bilgiler, hâlâ bu talihsiz bölgelerde uygulamaya konulmayı bekliyor.

Mayalanma süreciyle ilgili araştırmaların, hastalığın mikrop kuramıyla yakından bağlantısı vardı. Şekeri mayalandırıp alkole dönüştüren, sütün ve şarabın ekşimesine yol açan mikroplar üzerine yaptığı incelemeler Pasteur'ü insan hastalıklarının mayalanmayla birtakım benzerlikler taşıyabileceği fikrine yöneltti. Mikroorganizmalar, bulaşıcı hastalıkların nedeni olarak saptanmalarının neredeyse iki yüzyıl öncesinde geniş çapta belgelenmiş, hatta gruplar halinde sınıflandırılmıştı. Pasteur'ün çalışmalarından önce revaçta olan bir başka kavram da **kendiliğinden türeme**, yani canlı organizmaların ana babaya gerek olmadan, çürüyen hayvansal ve bitkisel maddelerden yaratılabileceği kuramıydı. Pasteur bunun mümkün olmadığını kanıtladı ve mikroorganizmaların çoğalmasının nasıl denetlenebileceğini gösterdi.

Gelin şimdi, hastalığın mikrop kuramının keşfedilmesine giden dolambaçlı yol üzerindeki önemli araştırma alanlarını yakından inceleyelim.

Mikroskobik Yaşam

On altıncı yüzyıl sonlarında Hollanda'da mikroskobun icat edilmesine değin, çıplak gözle görülemeyen mikroskobik yaşam biçimleri yalnızca hayal dünyasında ve kuramsal araştırmalarda yer almaktaydı. Hollandalı Antonie van Leeuwenhoek'un (1632-1723) mikroskobun altında yaşamı inceleyen sonraki bilim adamlarına çok büyük etkisi oldu. Van Leeuwenhoek önceleri kumaşçılık yapıyordu, sonradan Delft'te yerel yönetim görevlisi olarak çalıştı. İş dışındaki uğraşlarının başında, mercek yapmak ve kendi merceklerinin birinden yaptığı büyüteçle eline ne geçerse incelemek geliyordu. Onun mercekleri, Avrupa'dakilerin belki de en iyileri olarak kabul edilmekteydi. Van Leeuwenhoek 1673'ten başlayarak on yılı aşkın bir süre boyunce tek mercekli "mikroskobu" altında binlerce madde inceledi.

Birçok değişik mikrop türünü içine alan yepyeni bir mikroorganizmalar dünyası keşfetti.

Van Leeuwenhoek gözlemlerini düzenli olarak Londra'daki Kraliyet Derneği'ne bildiriyor, onlar da bunları yayımlıyordu. Bulgularını titizlikle, en ince ayrıntısına kadar kaydediyordu. Örneğin, iletilerinden birinde kendi dişlerinin arasından çıkan maddenin (diş pası) görünüşünü şöyle anlatmıştı: "Dişlerimi çoğunlukla gayet temiz tuttuğum halde, büyüteçle baktığımda aralarında az miktarda beyaz bir maddenin oluştuğunu görüyorum. (.....) Bu maddenin içerisinde büyük olasılıkla canlı yaratıklar olabileceği kanısına vardım." Kendi diş pasının içinde, "suyun içerisinde sert ve ani hareketlerle kımıldayan, aşırı derecede hareketli bir sürü minik canlı hayvan" keşfetmişti. Daha sonra bu organizmaları mikroskop altında yeni baştan inceleyenlerden hiçbirinin, bunların canlı olduklarından kuşkusu kalmadı. Böylece van Leeuwenhoek'un gözlemleri birçok bilim adamı tarafından doğrulanmış oldu. Bu tümüyle yeni mikroplar âleminin tüm dünyaca tanınması, büyük ölçüde van Leeuwenhoek'un iş dışındaki zamanlarını değerlendirdiği uğraş sayesinde gerçekleşmişti.

On dokuzuncu yüzyılın ortalarına doğru mikroskoplar daha da geliştirilip kusursuzlaştırılmış ve canlı mikroorganizmaların varlığı kesinlik kazanmıştı. Buna rağmen, hastalıklardan mikropların sorumlu olduğuna inanan pek az sayıda bilim adamı vardı. Gözle görülemeyen bir organizmanın, hatırı sayılır büyüklükteki insan vücudunu tehdit edebilmesi fikri, belki de çoğu kişiye abartılı geliyordu.

Çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük canlıların varlığı bir kere kabul edildikten sonra, bilim adamları bu mikropların gayet iyi bilinen ama nasıl işlediği pek az anlaşılabilmiş birtakım süreçlerle, örneğin mayalanmayla ilgisi olup olamayacağını düşünmeye başladılar. Şekerden alkol, üzümden şarap ve çimlendirilmiş arpadan (malt) bira üretmek için maya gerektiği yüzyıllardır bilinmekteydi. Acaba maya canlı bir mikroorganizma olabilir miydi.

Mayalanma

Mayalanma için gerekli olduğu düşünülen maddelere "maya" deniyordu. On dokuzuncu yüzyılın ortalarındaki en hararetli tartışma konularından biri, mayaların canlı olup olmadığı konusuydu. On dokuzuncu yüzyılın başında, aralarında Faraday'ın akıl hocası Humphry Davy'nin de bulunduğu birtakım ünlü kimyacılar, bazı kimyasal tepkimelerde eğer başka aracılar da yer almaktaysa tepkimelerin gerçekleşme hızının büyük ölçüde arttığını, ama bu ek maddelerde ne bir eksilme ne de bir değişim meydana geldiğini kanıtlamışlardı. Örneğin nişasta, içine sülfürik asit katılıp ısıtıldığında şekere dönüştürülebiliyordu, sülfürik asit katılmadığında ise nişastayı şekere dönüştürmek mümkün değildi. Ama sülfürik asit bütün bu süreç boyunca hiç değişmeden kalıyordu: Nişasta şekere dönüşmeden önce ne kadar sülfürik asit varsa, dönüşümden sonra da o kadar vardı. Benzer biçimde toz halindeki platin, hidrojen peroksitin su ve oksijene ayrışmasına neden oluyor, ama bu süreçte platinde hiçbir değişiklik meydana gelmiyordu. Bu çalışmalarda kullanılan sülfürik asitin ve platinin yanı sıra, kendileri aynı kaldıkları halde kimyasal değişimlerin hızını artıran diğer ayıraçlar da **katalizör** adıyla bilinmektedir.

Maya alkolün mayalanma sürecinde tümüyle kullanılıp tüketiliyora benzemese de, mayalanmanın verimli bir biçimde gerçekleşmesi için kesinlikle gerekli gibi görünüyordu. Dönemin önde gelen kimyacıları mayanın, şekeri alkole dönüştüren basit bir katalizör olduğunu öne sürdüler. Alkol mayasının yanı sıra bilinen başka birçok maya arasında, şarabı sirkeye çeviren asetik asit mayası da vardı. Büyük kimyacı Jons Jacob Berzelius'a (1779-1848) bakılırsa, bu mayalar inorganik, yani cansız kimyasal katalizörlerden başka bir şey değildi. Bir başka ünlü kimyacı Justus von Liebig (1803-1873) ise mayanın canlı bir mikrop olabileceğini kabul ediyor, ama yine de alkol üretiminden sorumlu mayalanma maddesinin, ölü veya ölmekte olan maya organizmalarının saldığı cansız bir katalizör olduğunu düşünüyordu.

Mayaların mikroorganizmalar olduğu fikrini kabul etme konusundaki genel isteksizliğin nedeni kısmen devrin büyük kimyacılarının görüşleriydi. Kaynak kitaplar, mayaların cansız katalizörler olduğunu yazıyordu. Buna ek olarak, mayalanma sürecinde "yaşam olduğu" fikri bazı bilim adamlarına geriye doğru bir adım gibi görünüyordu. Ne de olsa kimyacılar "yaşamsal" gücü bir kenara bıraktıklarından beri biyolojiyi anlama yolunda büyük adımlar atmaktaydılar. Mayalanma kimyasal yoldan açıklanabilirken, "yaşamsal" bileşeni yeniden gündeme getirmek niyeydi.

Mide sularında da, arpadan ve başka canlı organizmalardan çıkarılan özde de maya bulunduğu açığa çıktığında, kimyacılar canlılarda bu kimyasal katalizörlerin birçoğunun zaten bulunduğunu söylemekle yetindiler. Alkol mayasının ve başka mayaların canlı organizmalar olmadığına ilişkin inançları değişmedi. Mayaların canlı olduğunu söylemek başkaydı, canlılarda maya bulunduğunu söylemek başka!

İş alkolün mayalanmasına geldiğindeyse, esas sorun mayadaki mikroskobik, oval varlıkların -şimdi bunların maya hücreleri olduğunu biliyoruz- canlı olup olmadığından çıkıyordu. Birçok bilim adamının maya yuvarlarının çoğaldığını, çoğalma hızlarının da gözlenen mayalanma derecesiyle doğrudan ilişkili olduğunu gösteren kusursuz incelemelerine karşın, üstünlük günün önde gelen kimyacılarındaydı. Onların yetkesine meydan okumaya hazır pek az bilim adamı vardı.

Pasteur mayalanmayı incelemeye ilk başladığında bir sürü değişik maya bilinmekteydi. Bazı başka süreçlerin, örneğin etin ve yumurtanın çürümesinin ise kötü kokulu ürünler ortaya çıkartan birtakım mayalardan kaynaklandığı düşünülüyordu. Büyük kimyacıların fikirlerine, sağlam bir inançla kafa tutmaya cesaret eden kişi Pasteur oldu. Özenle tasarladığı ve titizlikle uyguladığı deneyler aracılığıyla sonunda bütün dünyayı alkol mayasının ve diğer mayaların gerçekten de mikrop olduğuna inandıran da yine oydu.

Pasteur, Mayalar ve Mikroplar

Louis Pasteur 1822'de Dole'da (Fransa) doğdu, kimya eğitimi aldı. İlk çalışmaları, kendisinin keşfettiği **molekül bakışımsızlığı** olgusu üzerine incelemeleri kapsıyordu. Bazı moleküllerin, aynı bir eldivenin sağ ve sol tekleri gibi, birbirinin ayna görüntüsü olan iki biçimi bulunur ve bunlar kimyasal açıdan birbirlerinden ayırt edilemez. Ama bunların kutuplanmış ışığı döndürme yetenekleri arasında açık bir fark vardır: Biri ışığı saat yönünde, diğeri saat yönünün tersi yönde döndürür. Pasteur, tartarik asit kristallerinin birbirinin ayna görüntüsü olan iki biçimde var olduğunu ve bunların kutuplanmış ışığı ters yönlere döndürdüklerini keşfetti. Ayrıca, tartarik asitin biçimlerinden yalnızca birinin canlı organizmalar tarafından kimyasal olarak parçalanabildiğini kanıtladı; diğeri canlılarca hiçbir şekilde kullanılmıyordu. Canlı organizmaların, bir molekülün birbirinin ayna görüntüsü olan biçimleri arasında ayrım yapma yeteneğine sahip olduğunun keşfedilmesi, biyokimyasal sistemleri anlayabilmemizde çok etkili olmuştur.

Kendisi aynı konuda deneylere başlamadan yıllar önce bile, Pasteur mayalanma süreçlerinin farkındaydı. Mayalara duyduğu ilgi, bazı mayaların -aynı tartarik asit gibi- birbirinin ayna görüntüsü iki molekül biçiminde var olabilen amil alkol ürettiğini öğrenmesiyle de başlamış olabilir. Burada Pasteur'ü özellikle ilgilendiren şey, mayalanma sırasında üretilen amil alkolün bu iki olası biçimden yalnızca biri halinde kendini göstermesiydi. Pasteur bu sonucun taşıdığı önemi en baştan kestirmiş ve (aynı kimyasal maddenin ayna görüntüsü biçimlerinin, sıradan kimyasal tepkimeler tarafından değil, yalnızca canlı hücreler tarafından ayırt edilebildiğini bildiği için de) mayalanmaya canlı organizmaların yol açtığı kanısına varmış olabilir. Dönemin ünlü kimyacılarının bu fikri reddetmesine rağmen, Pasteur mayalar üzerine yaptığı çalışmaların başından sonuna dek mayalanmanın canlılarla ilgisi olduğunu düşünmeye devam etti.

Pasteur mayalanma üzerine deneylerine esas olarak 1855'te, Lille'de (Fransa) kimya profesörlüğüne atanmasından bir yıl sonra başladı. Öğrencilerinden birinin babası, şeker pancarından maya aracılığıyla alkol üretilen bir damıtım evi işletiyordu ve mayalanma süreciyle ilgili bazı sorunları vardı. Pasteur'e akıl danıştı, o da yardım edip edemeyeceğini görmek üzere mayaları incelemeye karar verdi. Maya yuvarlarına mikroskop altında bakıp da mayalanma süreci aksadığında şekillerinin nasıl değiştiğini gözlemlemesi, Pasteur'ün mayalara duyduğu ilgiyi büsbütün körükledi. Mayalanma konusunu derinlemesine araştırmaya koyuldu ve kuşku yok ki bu incelemelere girişti̇ğinde alkol mayası ve diğer mayaların canlı mikroplar olduğu kanısını zaten taşımaktaydı.

Birkaç yıla kalmadan Pasteur alkol, laktik asit, tartarik asit ve butirik asit üretenler de içinde olmak üzere, bir sürü değişik maya üzerinde özenli ve ayrıntılı incelemeler gerçekleştirmiş bulunuyordu. Sütün ekşimesine yol açan laktik mayayı keşfetti: Bu maya, biçimleri alkol mayası yuvarlarından hemen hemen farksız, ancak onlardan çok daha küçük mikroskobik yuvarlardan oluşuyordu. O zamana değin hiç kimse ekşiyen sütte açıkça dikkat çeken herhangi bir mikroskobik mayaya rastlamamıştı. Pasteur laktik mayanın yuvarlarını fark edecek kadar dikkatli ve iyi bir gözlemciydi. Söz konusu yuvarları yalıtarak, bunların sütü kolaylıkla ekşittiğini kanıtladı, ayrıca başka açılardan da alkol mayasına benzer davranışlar gösterdiklerini keşfetti.

Mayaları kültür sıvıları içinde büyüten Pasteur, bunların hızla çoğaldığını ve yavruların da ana babalara benzediğini fark etti, çoğalmalarının ise mayalanma derecesine koşut olarak gerçekleştiğini gösterdi. Ayrıca, soğan suyunun bazı mayaları öldürürken, diğerlerine zarar vermediğini kanıtladı. Onun gözünde bu buluş, ileride kendi çalışmalarından doğacak ve ameliyatlarda devrime yol açacak antiseptik yöntemlere ilişkin bir ipucu olmuş olabilirdi. Ama kendi başlarına bu çalışmalar, mayaların canlı olduğu kanısını yerleştirmeye yeterli değildi: Kim-

yacı von Liebig, mayaların ölen mikroplarca salınan cansız maddeler olduğunu söylemiş bulunuyordu.

Pasteur'ün daha sonra gerçekleştirdiği deneyler ise çoğu bilim adamını mayaların mikrop olduğuna ikna etti. Pasteur ilk olarak, mayalanmanın pek de önceden düşünüldüğü kadar basit bir olay olmadığını gösterdi. Örneğin alkol mayalanmasının ürünlerini incelediğinde, bunlarda alkolün yanı sıra gliserin ve süksinit asit gibi çeşitli başka kimyasalların da bulunduğunu keşfetti. Eğer Berzelius ve destekçileri, alkol mayalanmasına basit bir kimyasal tepkimeyi (şekerin alkole dönüşmesini) hızlandıran kimyasal bir katalizörün yol açtığı konusunda haklı idiyseler, o zaman şekerden basit bir şekilde üretilmesi mümkün olmayan bu ek kimyasallar niçin ortaya çıkıyordu. Pasteur mayalanma ürünlerinin böyle karmaşık olmasını, mayalanma sürecinden karmaşık yapıya sahip bir canlı organizmanın (mayanın) sorumlu olduğu fikrine bağladı. Ayrıca, mayalanma sırasında üretilen bu ek kimyasallardan birçoğunun molekül bakışımsızlığı sergilediğini ve üründe olası iki ayna görüntüsü biçimden yalnızca birinin bulunduğunu keşfetti: Pasteur'e göre bu, mayalanma sürecinde yaşamın parmağı olduğunun kanıtıydı.

Daha da önemlisi, Pasteur yalnızca şeker, amonyak ve basit inorganik tuzlardan oluşan bir kültür ortamında maya üretmeyi başardı. Maya yuvarlarının küçük bir bölümü, bu koşullar altında çoğalmayı ve bu süreç içerisinde ortamdaki bileşenleri kullanıp tüketmeyi becerebiliyordu. Çoğalma hızları ise alkol üretimine koşuttu. Mayalanmanın, mayanın parçalanıp basit bileşenlerine ayrışması veya ölmesi sonucunda gerçekleşmediği kesindi; çünkü buradaki maya yuvarları gayet güzel çoğalmakta ve sonuçta bol bol da alkol üretilmekteydi! Maya, ortamdaki basit kimyasalları alıp bunlardan protein ve başka maya bileşenleri yapıyordu. Oysa cansız bir katalizör, hızlandırdığı kimyasal süreç boyunca hiçbir değişiklik geçirmez. Maya yuvarlarının canlı olduğu fikrini destekleyen bütün bu deney sonuçları, inorganik maya kuramlarına karşı ciddi tartışmalar başlattı.

Pasteur'ün keşiflerinden bir başkası da, hareketli mikroplardan oluşan butirik asit mayasıydı. Bu maya kuşku götürmez biçimde canlıydı, çünkü kültür ortamının içinde hızla yüzüyordu. Birçok özelliği de, Pasteur'ün incelediği başka mayaları tanımlayan özelliklere benziyordu. Butirik asit mayalanması oksijenin yokluğunda, oksijenin varlığında olduğundan daha kolay gerçekleşiyordu. Bazı canlıların oksijenin yokluğunda çoğalıp geliştiğini gösteren ilk bilim adamı olarak Pasteur'ün adı anılır.

Pasteur'ün mayalar üzerine yaptığı ayrıntılı ve yalın çalışmalar, mayalanma süreçlerini gerçekleştiren mikropların gelişmeleri için gereksindikleri besinlerin kesin değerlerini ortaya çıkardı. Her maya mikrobu türünün, kendine özgü değişik bir asitlik ve alkalilik, büyüme sıcaklığı ve beslenme koşulu tercihi vardır ve her maya kendine özgü ürünler üretir. Mayalar üzerine yaptığı bu her bakımdan eksiksiz incelemelerle, Pasteur bira, sirke, şarap ve alkol endüstrilerine çok önemli bilgiler sağlamış oldu. Değişik mayalanma süreçleri için gereken en uygun koşulların geliştirilmesine yol gösterdiği için, günümüzde bile bu endüstriler kendisine çok şey borçludur. Pasteur'ün çalışmaları, maya mikroplarının kolayca denetlenebileceğini apaçık göstermekteydi: Mikroplar artık evcilleştirilmişti.

Pasteur'ün adı sütün, şarabın ve çeşitli başka içecek ve yiyeceklerin, içlerinde mikroorganizmaların büyümesini engellemek için ısıtıldıkları "pastörizasyon" işlemi sayesinde günlük hayatımızda yaşamayı sürdürüyor. Pasteur bu yöntemi 1850'lerde şarap endüstrisine uygulayarak, şaraptaki bakteri enfeksiyonlarının azaltılması, ayrıca şarabın tadının ve kalitesinin iyileştirilmesi yönünde önemli bir katkıda bulunmuştu.

Mayalanma süreçlerinin zaman zaman "hastalıkların" etkisi altında kaldığı artık açıklık kazanmıştı. Pasteur bu hastalıkların maya mikroplarına bulaşmış başka mikroorganizmaların varlığından ya da maya mikroplarının yanlış ürünü üretmesine yol açan yanlış büyüme koşullarından kaynaklanabileceğini fark etti. Hiç kuşku yok ki Pasteur, mayalanmadaki mikroplarla insan

hastalıkları arasında bir koşutluk kurmaya bu çalışmalar sırasında başlamıştı. Eğer bazı özel mikroorganizma türleri özel birtakım mayalanmalara veya kokuşmaya yol açabiliyor, öte yandan başka mikroplar da mayalanma sürecinde hastalığa neden olabiliyorsa, bazı hayvan hastalıkları da özel birtakım bakteri türlerinin bulaşıp yayılmasından kaynaklanıyor olamaz mıydı. Pasteur bulaşıcı hastalıklar sorununa el atmadan önce deneylerini bir başka tartışmalı fikre, kendiliğinden türeme fikrine yöneltti.

Kendiliğinden Türeme

Kendiliğinden türeme fikri çok eskilere dayanır. Öyle ki, Eski Yunanlı filozof Aristoteles bile birçok bitkinin ve küçük hayvanın, çürüyen topraktan veya kokuşan et ve dışkıdan meydana geldiğine inanmıştı. Daha büyük hayvanların ve insanların bir zamanlar kendiliklerinden topraktan çıktığı, ama artık kendiliğinden türemeye gerek olmadan yavrulayıp çoğalabildikleri şeklinde genel bir kanı vardı. Çürüyen hayvansal veya bitkisel maddelerin üzerinde ve çevresinde kurtçuk, sinek, solucan, fare, sıçan ve benzerlerinin bulunması hiçbirimize yabancı görüntüler olmadığı halde, solucanların veya farelerin bu maddelerden kendiliklerinden türediği düşüncesi bugün için tümüyle akıl dışıdır. Ne var ki yirminci yüzyılın bilgileri elde yokken, gerek Eski Yunanlılar, gerekse sonraki birçok Avrupalı bilim adamı kendiliğinden türemeye inanmaya hazırdı.

On altıncı yüzyıl gibi geç bir tarihte, ünlü kimyacı Jan Baptista van Helmont (1579-1644) hayatının az sayıdaki bilimsel hatalarından birini yaparak, açık bir kutuya bir parça buğday veya peynirle birlikte yerleştirilmiş kirli çarşaflardan kendiliğinden fare türetilebileceğini kanıtladığını iddia etti. Bir başka büyük bilim adamı Francesco Redi (1626-1697) 1684'te biraz daha iyi denetlenmiş bazı deneyler yaptı ve eğer et tülbentle kaplanırsa, çürüdüğünde içinde kendiliğinden kurtçuklar oluşmadığını gösterdi. Buna karşın, sineklerin tülbentin üzerine yu-

murta bıraktığını ve bu yumurtaların kurtçuklara dönüştüğünü gözlemlemişti. Bir başka deyişle kurtçuklar çürüyen etten değil sineklerden geliyordu.

On yedinci yüzyılın sonlarında, tam da kendisine karşıt kanıtlar birikmeye başlamışken, kendiliğinden türeme kendini bir kere daha gösterdi: Bu defaki ortaya çıkışı van Leeuwenhoek'un mikroskobik canlılar üzerine yaptığı gözlemler yüzündendi. Farelerin ve kurtçukların topraktan yaratılmıyor olabileceği kabul edilmişti, ama yine de birçok bilim adamı mikroskobik canlıların ortaya çıkabilmesi için akla yakın tek yolun kendiliğinden türemeden geçtiğini düşünüyordu. Yoksa sadece bir tane mikrop, bir tek günde nasıl bir milyonu aşkın yavru üretebilirdi. O dönem için her bir mikrobun kendiliğinden türediğini düşünmek çok daha mantıklıydı, oysa bugün bakterilerin gerçekten de müthiş bir hızla çoğaldıklarını biliyoruz. Mikroorganizmaların keşfi, bunların kendiliğinden türediğine inanan bilim adamlarıyla, daha büyük yaratıklara benzer biçimde mikrop ana babalardan geldiklerine inanan bilim adamları arasında bir tartışma başlattı.

Birtakım gözlemler mikropların kendiliğinden türediği kavramını destekler gibi görünüyordu. Örneğin, üzüm suyunun mayalanarak şaraba dönüşmesi sırasında, başlangıçta üzümlere hiç alkol mayası katılmasa bile, çok sayıda mayanın ortaya çıktığı bilinmekteydi. Şimdi ise mayanın kendiliğinden ortaya çıkmadığını, üzümün kabuğunda doğal olarak bulunduğunu ve üzüm mayalandığında çoğaldığını biliyoruz. Etin ve başka kokuşabilir maddelerin uzun süreyle ısıtılmalarının, eğer kapalı ve hava almayan bir kapta tutulurlarsa, çürümeyi engellediğinin gözlemlenmesi de kendiliğinden türeme fikrine ters düşüyordu. Kaba hava girerse bu maddeler kokuşmaya başlıyordu. Kendiliğinden türeme yandaşları kokuşmanın gerçekleşmesi için hava gerektiğini iddia ederken, bu fikrin karşıtları havanın sadece kokuşmaya neden olan mikropları taşıyıp getirdiğini savunuyordu.

Kendiliğinden türemeyi incelemek üzere tasarlanmış deneyler bazen bu kuramla bağdaşmaktayken, bazen de görünüşte benzer deneyler kurama ters düşmekteydi. Sorunlardan biri, deney sonuçlarının tekrarlanamamasıydı. Buysa kuşkusuz, ortamda bakterilerin yaygın oluşundan ve deney gereçlerini mikroptan arınmış halde tutmanın zorluğundan kaynaklanıyordu. Kültürün üretildiği şişe veya kapağı bakteri kaynarken, etin belli koşullar altında çürüyüp çürümediğini araştırmada nasıl kullanılabilirdi. Bir başka sorun ise deneylerin tasarlanışındaki özensizlikti. Örneğin, eğer kendiliğinden türemenin koşullarından biri hava idiyse, o zaman kültür üretilen bütün şişelerin kapaklarının havanın girebileceği kadar geçirgen, ama mikropların girmesini engelleyecek kadar da geçirimsiz olması gerekiyordu. Eğer gerçekten de kendiliğinden türeme diye bir şey varsa, bütün mikroplardan arındırılmış haldeki kokuşabilir bir maddenin mikropsuz kabın içinde de (kaba hava girişine izin verilmesi ama aynı zamanda mikropların da dışarıda tutulması koşuluyla) mikrop üretebilmesi beklenirdi. Eğer bu koşullar altında çürüme oluşmazsa, kaba hava girişiyle ilgili bir sorun olduğu iddia edilemezdi, dolayısıyla kendiliğinden türeme kavramından vazgeçilmesi gerekirdi.

Pasteur'den önce İtalyan bilim adamı Lazzaro Spallanzani (1729-1799) kendiliğinden türeme kuramının yanlış olduğunu kanıtlamaya daha önce kimsenin başaramadığı kadar yaklaşmıştı. 1765'te sebzeleri çürümeye bırakmadan önce ısıttığında, sonradan bunların içinde beliren mikrop sayısının hiç ısıtılmamış sebzelere oranla daha az olduğunu keşfetti. Daha da önemlisi, sonradan içlerinde mikrop üremesi isteniyorsa, sebzelerin neredeyse bir saat boyunca ısıtılması gerekiyordu. Bu deney, maddeleri içlerinde bulunan mikroplardan ısıtma yoluyla arındırmanın önceden düşünüldüğü kadar kolay olmadığını ortaya çıkardı. Spallanzani ayrıca, sebze parçacıklarını cam kavanozlara yerleştirip bunların ağızlarını çeşitli yöntemlerle sıkıca kapayarak, sebzelerin mikrop üretme yeteneklerinin ne şekilde

etkilendiğini inceledi. Kapakların geçirgenliği artırıldıkça sebzelerin üzerinde üreyen mikrop sayısının çoğaldığını keşfetti. En çok sayıda mikrop, açık bırakılan kaplarda üremişti; öte yandan kapak malzemesi olarak sırayla bez, tahta ve cam kullanıldığında gitgide daha az sayıda mikrop oluşuyordu. Spallanzani bu sonucu, havanın mikrop içerdiği ve kapağın geçirgenliği arttıkça bu mikropların cam kaba girişinin kolaylaştığı şeklinde yorumladı. Eğer kaplar sımsıkı kapatılırsa sebzeler mikrop üretemez, bu da mikroorganizmaların kendiliğinden türemediğini gösterir. Mikroorganizmaların belirdiği durumda ise neden, bunların hava aracılığıyla kaba taşınmış olmasıdır. Kendiliğinden türemeyi destekleyenler hâlâ havada mikropların kendilerinin değil, kendiliğinden türemenin gerçekleşebilmesi için gerekli bir bileşenin olduğunu iddia ediyorlardı: Kapağın geçirgenliği azaldıkça, havanın bu bileşeninin gitgide daha az bir miktarı kaba girmeyi başarabiliyordu.

Kendiliğinden türeme sorununun çözümü hiç de kolay olacağa benzemiyordu. Muhalifleri ne zaman kurama karşıt bir savla ortaya çıksalar, yandaşlarının bunu etkisizleştirip kuramı desteklemeye yarayacak bir savı mutlaka bulunuyordu. Bu sorunu temelli olarak çözmeyi, ancak büyük bir deha ve kusursuz bir deneyci başarabilirdi. İki bin yıllık kendiliğinden türeme kuramını unutuluşa gönderecek can alıcı kanıtı sağlayan bilim adamı Louis Pasteur'dü.

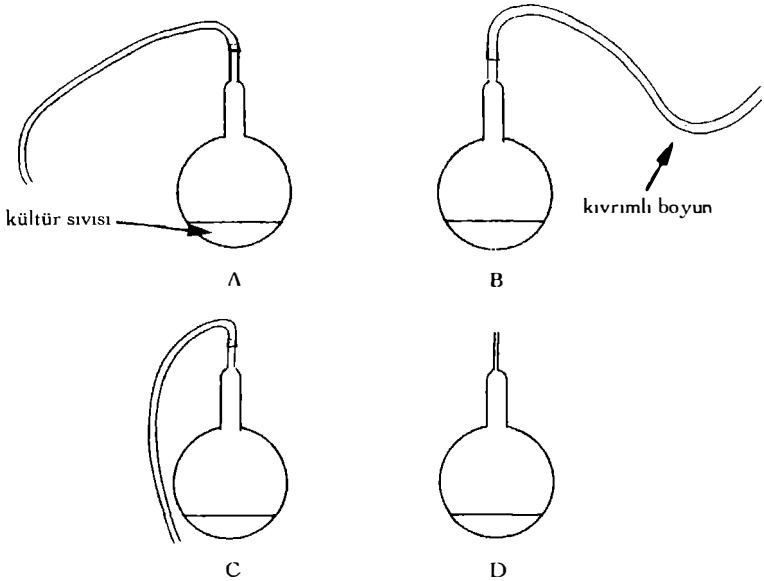
Pasteur ve Kendiliğinden Türeme Kuramının Sonu

Mayaların canlı mikroplar olduğunu doğrulayarak bir bilimsel tartışmayı sonlandıran Pasteur, bunun ardından yönünü kendiliğinden türeme konusundaki büyük çekişmeye çevirdi. 1860'ta şöyle yazıyordu: "Pek yakında o ünlü kendiliğinden türeme sorununu en ufak bir belirsizliğe yer kalmayacak şekilde çözerek kesin bir adım atmayı umuyorum." Kendinden önce birçok bilim adamının bu can alıcı darbeyi indirebilmek üzere çabalamış ve yenilmiş olmasına rağmen, Pasteur kendiliğinden

türeme fikrini temelli olarak yok etmek için hangi deneylere gerek olduğunu tamı tamına biliyora benziyordu. Pasteur kendiliğinden türeme kuramına meydan okumaya hazırlandığını bildirdiğinde, artık onun bilimsel ve zihinsel yeteneklerine büyük saygı duymakta olan üstleri kaygılanmaya başladılar. Onu, tüm zamanını alacak, ama yine de kuramın yandaşlarını inandıracak kesinlikte sonuç vermeyecek zor deneylerin beklediğine ilişkin uyardılar. Pasteur yine de yoluna devam etti: Belki de bu soruna el atmanın, hastalığın mikrop kuramını kanıtlama yolunda kaçınılmaz bir adım olduğunun bilincindeydi.

Ele alınacak ana konulardan biri, kültür sıvısında beliren mikropların oraya havayla mı geldiği, yoksa havanın sadece bunların kültür sıvısında kendiliğinden türeyebilmesi için gerekli bir aracı mı olduğu sorusuydu. Pasteur havayı süzgeçten geçirip biriken maddeleri mikroskop altında inceledi. Havanın, kültür sıvılarında bol bol üretiğine tanık olduğu parçacıklara çok benzeyen minik, yuvarlak parçacıklar içerdiğini fark etti. Havadaki bu parçacıkların kültür sıvısında da üreyebildiğini gösterdi. Havada mikrop bulunduğu kesindi, ama bu besleyici kültür sıvısında mikrop üremesinden kendiliğinden türemenin sorumlu olmadığını kanıtlamıyordu.

Gerçek kanıt, şaşırtıcı derecede basit bir dizi deney yoluyla elde edildi. Pasteur, cam şişelere besleyici kültür sıvısı koydu ve şişelerin boyunlarını, birbirinden farklı ince, uzun eğriler şeklinde büktü (Şekil 20). Bu "kuğu boyunlu" şişeler daha sonra içlerindeki havanın dışarı çıkmasını sağlamak üzere kaynatıldı ve soğuduklarında, benzer şekilde kaynatılmış ama boyunları kıvrık olmayan başka şişelerle yan yana yerleştirildi. Hiçbirinin boynu tıkanmamış olduğu için dışarıdaki hava bütün şişelere rahatlıkla girebilirdi, ama mikropların boyun kıvrımlarında takılıp kalma olasılığı vardı. Bu basit deneyin sonuçları belirleyici oldu. Kuğu boyunlu şişelerde hiç mikrop üremezken, dik boyunlu şişelerde enfeksiyon oluştu. Pasteur kuğu boyunlu şişelerin bazılarının kıvrık boyunlarını kırdığında, sonradan bu şişe-



Şekil 20. Pasteur'ün kendiliğinden türeme kuramını çürütmek için kullandığı şişeler. A, B ve C şişelerinin her birinin, havanın içeri girmesine izin veren ama bakterileri içeri sokmayan kıvrımlı boyunları vardı. Bu şişelerdeki kültür sıvısında mikrop üremedi. D şişesinin boynu kıvrımlı değildi. Bu şişedeki kültür sıvısını, havayla taşınan bakteriler bürüdü.

lerde de bakteri üredi̇ğini fark etti. Pasteur'ün yüz yıldan çok zaman önce kaynatmış olduğu kuğu boyunlu şişelerden bazıları, içlerindeki sıvıyla beraber hâlâ duruyor, üstelik bugün bile içlerinde mikroptan eser yok!

Pasteur'ün kuğu boyunlu şişeleri, çoğu kendiliğinden türeme yandaşı tarafından o zamana değin getirilmiş eleştirileri yanıtlamaktaydı. İçlerindeki sıvının havayla doğrudan ilişkide olduğu şişeler ortadaydı: Hiçbir kapak kullanılmamış, kendiliğinden hiçbir mikrop da türememişti. Pasteur'ün deneyleri, bakterilerin kültür sıvısında üreyebilmeleri için buraya ortamdan girmiş olmaları gerektiğini kanıtladı. Hava kuğu boyunlu şişelere rahatlıkla girip çıkabilirken, daha ağır olan bakteriler boyun kıvrımlarında takılıp kalıyor ve kültür sıvısına ulaşamıyorlardı. Pasteur şişelerden birinin kıvrımlı boynuna önceden kaynatılmış kültür sıvısından bir damla damlattığında, burada bakteri

ürediğini keşfetti: Havadan gelen mikroplar, gerçekten de boyun kıvrımına takılmaktaydılar.

Pasteur ayrıca havada bulunan bakterilerin bir yerden diğerine sayıca farklılık gösterdiğini kanıtladı. Önceden kaynatılmış kültür sıvısını yüksek rakımlı yerlerde, örneğin İsviçre buzullarında havayla temas ettirdiğinde, kültür sıvısı mikropsuz kalmayı sürdürüyordu. Fikirlerine karşı çıkılmasına rağmen, sonunda Fransız Bilimler Akademisi'ni kendi deneylerini tekrarlayıp doğrulamak üzere bir heyet görevlendirmeye ikna etti. Pasteur'ün kendi verilerine güveni tamdı, oysa ona karşı çıkanlar kendi verilerinden kesinlikle emin olamadıkları için karşı savlarını geri çektiler: Kendiliğinden türeme kuramı yenilgiye uğramıştı. Bir zamanlar pek az kişi bu fikre meydan okuyabiliyorken, artık hiç kimse Pasteur'ün onu yok ettiğine karşı çıkmayı göze alamıyordu.

Hastalığın Mikrop Kuramı

Pasteur, az rastlanan bir başarıyla kimyadan mayalanmaya, oradan da kendiliğinden türemeye geçmişti. Onun için bir sonraki kaçınılmaz adım, mayalanmanın "mikrop kuramı"nı hastalığın "mikrop kuramı"na uygulamaktı. 1862'de şöyle yazıyordu: "Mikropların incelenmesi hayvanların ve bitkilerin hastalıklarıyla öyle çok bağlantı olanağı sunuyor ki, kokuşmaya yol açan ve bulaşıcı hastalıkların araştırılmasında (.....) ilk basamağı bu oluşturuyor." Pasteur bundan on dört yıl sonra, şarbon bakterileriyle deneylere başladı ve mikrop kuramının doğruluğunu kanıtladı.

Bulaşıcı hastalıkların mikrop kuramı sonunda kabul edilene değin, hastalığın nedenleri konusuna yüzyıllarca bir gizemcilik ve yanlış anlama hâkim olmuştu. Kimileri hastalıkların yozlaşma ve günahlara karşılık ilahi bir ceza olduğunu düşünegelmişti. Kimileri birtakım dünyasal "güçler" olduğuna ve bunlar denetimden çıktığında hastalıkların başgösterip yayıldığına inanıyordu. Kimileriyse hastalıklara "pis hava" veya "miyasma"nın*

* Eskiden ateşli hastalıklara neden olduğuna inanılan yoğun ve zehirli sis, pus (ç.n.)

yol açtığını düşünüyorlardı: Örneğin sıtmanın bataklıklardan yükselen miyasmadan kaynaklandığı düşünülüyordu (XIII. Bölüm). Pek az kişi bulaşıcı hastalıklardan çok ufak, görünmez canlıların sorumlu olduğunu düşünüyordu, bunlar da yeterli inandırıcılıkta deneysel kanıt sağlayamıyorlardı.

1836'da İtalyan bilim adamı Agostino Bassi (1773-1856) ipek endüstrisinde sorun yaratmakta olan bir ipekböceği hastalığına (muskardin ya da kireç hastalığı) bir mantarın neden olduğunu kanıtladı. Bassi muskardinli ipekböceklerinin üstünde beliren beyaz lekelerden alınma maddenin, sağlıklı ipekböceklerine sıranga edildiğinde bunlarda hastalık yarattığını gösterdi. Mikroskop altında incelediğinde, bulaşıcı malzemenin bir mantar içerdiğini fark etti. Kısa bir zaman içerisinde, başka birtakım hastalıklara da, örneğin insanlarda görülen bir hastalık olan pamukçuğa, mantarların yol açtığı anlaşıldı.

Louis Pasteur'ün de bulaşıcı hastalıklarla deneysel düzeydeki ilk doğrudan ilişkisi ipekböceği hastalıkları sayesinde olmuştu. Fransa'nın ipek endüstrisi ticari amaçla yetiştirilen ipekböceklerini kırıp geçiren bir salgınla sarsılmaktaydı. 1865'te Tarım Bakanlığı ipekböceklerindeki salgınla ilgili bir araştırma başlattı ve çalışmalara Pasteur'ün öncülük etmesi kararlaştırıldı. Hastalık ipekböceklerinin derisinde beliren minik siyah benekçiklerle kendini gösteriyor ve hiç kimse bunun nedenini bilemiyordu. Pasteur sorun üzerindeki çalışmalarına, hastalıktan mikropların sorumlu olmadığını düşünerek başladı. Hem hastalıklı ipekböceklerinde, hem de bunlardan gelişen pupalarda ve kelebeklerde mikroskobik yuvarlar bulunmasına rağmen, hastalığın ipekböceklerinin sadece fiziksel yapısıyla ilgili bir sorun olduğunu düşünüyordu. Yıllar süren deneylerin ardından Pasteur, ipekböceği endüstrisini sarsan baygınlık hastalığı ve karabatan adındaki iki hastalığın nedeni olarak mikroorganizmaları teşhis ettiğine ikna oldu. Deneysel bulgularını temel alarak, ipek endüstrisinde çalışanlara hastalığın önüne en iyi nasıl geçilebileceğinin yollarını gösterdi ve böylece gerek Fransa'daki, gerekse

başka Avrupa ülkelerindeki ipek endüstrisine önemli bir katkıda bulundu.

Pasteur'ün ipekböceklerindeki bulaşıcı hastalıklar üzerine araştırmaları, onu daha büyük hayvanlardaki ve insanlardaki hastalıkların mikrop kuramına götüren yolun ilk adımıydı. 1876'da, üstelik de vücudunun sol yanını felce uğratan bir inme geçirmiş hasta bir adam olmasına rağmen, Pasteur Fransa'daki koyun nüfusunu gitgide azaltmakta olan şarbon hastalığı üzerine deneysel bir inceleme yapmaya karar verdi. On yıldan fazla bir zaman önce başkaları, şarbonlu koyunların kanında çubuk şeklinde mikroorganizmalar bulunduğunu görmüş ve bu kanı sağlıklı koyunlara şırınga ettiklerinde onların kanında da şarbon ürediğini göstermişlerdi. Ama bu deneylerle ilgili çelişkili fikirler vardı ve tıpkı kendiliğinden türeme ve mayalanma konularında olduğu gibi, elde edilen sonuçlar mikrop kuramına karşı çıkanları tatmin edecek kesinlikte değildi.

Pasteur şarbon araştırmalarına başladığında Robert Koch (1843-1910) adında bir Alman hekim çoktandır bu hastalık üzerine yoğunlaşmış bulunmaktaydı. Hastalığın mikrop kuramını doğrulayan ve insanlığı kırıp geçirmiş bakteri kökenli birçok hastalık karşısında bize bugünkü özgürlüğümüzü veren kişiler olarak Pasteur'le Koch'un adı birlikte anılmaktadır. Koch şarbonlu koyunların kanında bulunan mikroskobik çubukları, kan damlaları ve tavşan gözünden alınma sıvı damlaları içinde yetiştirdi. Şimdi şarbon **basili** (çubuk şeklindeki bakteri) adıyla bildiğimiz bu çubukların, farelere şırınga edildiğinde şarbona yol açtığını gösterdi ve hastalık bulaşmış bu farelerde bir sürü basil daha bulunduğunu tespit etti. Başka kaynaklardan, örneğin samandan alınma çubuk şekilli bakteriler şarbon üretmiyordu. Bu durumu doğru bir şekilde yorumlayan Koch, şarbona yol açanın özel bir basil türü olduğu kanısına vardı. Koch şarbon basilinin yaşamının dökümünü çıkardı: Bölünerek çubuk biçiminde iplikçikler meydana getirmelerini gözledi, sonra da bunların yuvarlak yapılar (sporlar) haline dönüştüklerini ve bu

halleriyle basillerden daha zor koşullara göğüs gerebildiklerini fark etti.

Koch şarbon basilini kanda ve göz sıvısında yetiştirerek, ileri doğru önemli bir adım olan, hastalık yapan bir mikrobu yalıtabilme ve bir hayvanın dışında da üretebilme adımını atmış oldu. Böylece artık hem mikropların hastalığa neden olduğu, hem de bunların herhangi bir hayvandan bağımsız olarak büyük miktarlarda üretilip incelenebileceği anlaşılmıştı.

Bazı bilim adamları Koch'un çalışmalarını hâlâ eleştirmekteydiler. Şarbona basillerin değil, hastalıklı bir hayvandan kan alındığında bu kanla birlikte geçen başka bir etkenin yol açtığını düşünüyorlardı. Pasteur bu eleştirileri yanıtlayıp Koch'un bulgularını tamamlayarak, hastalığın mikrop kuramının temelli olarak yerleşmesini sağladı. Pasteur, şarbon basilini idrar içinde yetiştirdi ve elindeki bu ilk kültürü, basillerin yanı sıra var olan ve üreme yeteneğine sahip olmayan kirletici etkenlerden kesinlikle hiçbir eser kalmayana değin bir dizi seyreltme sürecinden geçirdi. İçinde şarbon basillerinin hiç durmadan üremeye devam ettiği bu kültür, hayvanlarda hâlâ yaygın enfeksiyonlara yol açıyordu. Bu sonuç her türlü kuşkunun ötesinde, basillerin gerçekten de şarbona neden olduğunu kanıtladı. Dahası, Pasteur elindeki kültürlerden basilleri süzüp çıkardığında bulaşıcılık ortadan kayboldu.

Hastalığın mikrop kuramı bir kere kanıtlanıp yerleştikten sonra, bilim adamları mikropların şarbon dışında başka hastalıklara da yol açma olasılığını araştırmak için Koch ve Pasteur'ün öncülüğünü ettikleri titiz yöntemlerden yararlanmaya başladılar. On dokuzuncu yüzyılın sonlarına doğru verem, kolera, sıtma ve başka birçok hastalığa neden olan mikroorganizmalar teşhis edilmiş bulunuyordu. Koch bakteri kökenli hastalıkların araştırılmasına öncülük eden çalışmalarıyla 1905'te Nobel Fizyoloji ya da Tıp Ödülü'nü aldı. Pasteur ise 1895'te, Nobel Ödülleri henüz konmadan ölmüştü. Kuşku yok ki, eğer yaşasaydı Pasteur Nobel Ödülü'nü Koch'la paylaşacaktı. Aslı-

na bakılırsa molekül bakışımsızlığı, mayalar ve kendiliğinden türeme alanlarındaki çalışmalarının her biri, ona ayrı birer Nobel Ödülü kazandırmaya yeterli çaptaydı. Ama Pasteur'ün insanlığın gelişimine yaptığı muazzam katkılar burada da bitmiyordu: Sırada daha aşılar üzerine yapacağı çalışmalar vardı (XII. Bölüm).

Pasteur'ün mayalanmaya yol açan mikroplar üzerine araştırmaları, çürüme ve hastalık süreçleriyle ilgili fikirleri tıp dünyası genelinde alaya alınmaktaydı. Hekimlerin çoğu onun fikirlerini saçma buluyordu: Sağlıkla ilgili sorunların yanıtlarını bulduğunu iddia eden bu basit kimyacı da kim oluyordu. Ama bazıları onu dikkate almaya başlamışlardı. Bunlardan biri Britanyalı cerrah Joseph Lister'di (1827-1912). Pasteur'ün kokuşmaya yol açan mikroplar üzerine çalışmalarını duymuştu ve o da aynı Pasteur gibi, ameliyat yaralarında sıklıkla ortaya çıkan korkunç enfeksiyonlardan mikroorganizmaların sorumlu olduğunu düşünüyordu. On dokuzuncu yüzyıl ortalarında ameliyat sağlık sorunlarını çözmede başvurulacak son çare olarak görülüyordu: Cerrahi müdahale sonrası enfeksiyonların yol açtığı ölümler, istisnayı değil kaideyi oluşturmaktaydı. Lister, eğer bu enfeksiyonlar mikroplardan kaynaklanıyorsa, bu mikropları öldürecek kimyasal yöntemler bulunabilir ve böylece ameliyat sonrasında çıkan sorunlar azaltılabilir, diye düşündü.

1864'te Lister, ameliyat yaralarındaki bakterileri öldürmeye yönelik antiseptik yöntemler geliştirdi. Karbolik asit püskürterek elde ettiği başarı müthişti: Ameliyat sonrası enfeksiyon ve ölüm olaylarının görülme sıklığını çarpıcı ölçüde azalmıştı. Lister'in antiseptik ameliyat yöntemi, bugünkü ameliyathanelerde uygulanmakta olan ve mikropların ameliyat kesiklerine ulaşmasını engelleyen çok sıkı kuralların yolunu açtı. Hiç kuşku yok ki, Lister Pasteur'den esinlenmişti. 1874'te Pasteur'e yazdığı bir mektupta şöyle diyordu:

"Bu vesileyle, dâhiyane araştırmalarınızla çürümenin mikrop kuramının doğruluğunu kanıtladığınız ve böylece antiseptik yöntemin geliştirilmesine temel olabilecek yegâne ilkeyi sağladınız için size en içten teşekkürlerimi sunmama izin veriniz. Eğer bir gün Edinburgh'u ziyaret edecek olursanız, hastanemize gelip de insanlığın sizin çabalarınızdan ne büyük ölçüde yararlandığını görmek eminim ki size gerçek bir kıvanç verecektir. Cerrahinin size ne çok şey borçlu olduğunu gösterebilmenin, bana ne büyük bir kıvanç vereceğini ise eklememe gerek olmadığını sanıyorum." (Alıntı: Dubos, R., 1960.)

Pasteur tüm yaşamı boyunca kuramlarına karşı çıkılmasını göğüslemek zorunda kaldı, ama rakipleri karşısında hep zafer kazandı. Başarısının ardındaki ana nedenler büyük olasılıkla azmi, fikirlerinin doğruluğuna olan inancı, deneylerindeki göz kamaştırıcı zekâ ve basitlik, bir de bunların gerçekleştirilmesinde gösterilen özendi. Sonunda deney sonuçları yoruma yer bırakmayacak kadar açık oluyor ve hiç kimsenin bunlara karşı söyleyecek sözü kalmıyordu, kaldı ki bu sonuçlar çoğunlukla da doğru çıkıyordu.

Mikropların hastalığa yol açtığı bir kere belli olduktan ve hastalıktan sorumlu mikroplardan birçoğu yalıtıldıktan sonra, bazı bilim adamları mikropları öldürecek ama mikrobun bulaştığı hayvanlara zarar vermeyecek birtakım maddelerin yapılabilme olasılığı üzerine kafa yormaya başladı. Lister'ın antiseptik ameliyat yöntemi, yaralardaki enfeksiyonların mikropları öldürerek önlenebileceğini zaten çoktan göstermişti. On dokuzuncu yüzyıl sonlarında, birçok hastalığın sağlıksız yaşam koşullarıyla ilgili olduğu ve temizlik kurallarına uyularak birçok bulaşıcı hastalığın bir yere kadar önlenebileceği açıklık kazanmıştı. Çiçek hastalığı Edward Jenner'ın (XII. Bölüm) geliştirdiği aşı yöntemi sonucunda büyük ölçüde yenilmişti, ama çiçeğin önlenmesinde aşının gördüğü işlevin mekanizması gizini hâlâ ko-

rumaktaydı. Hastalığın mikrop kuramının kanıtlanması, başlangıçta şans eseri olarak, daha başka birçok bulaşıcı hastalığa karşı da aşı üretilebilmesini sağladı. Bu yeni aşıların geliştirilmesinde ana rollerden birini Pasteur üstlenmekteydi.

XII. Bölüm

Sütçü Kızlar, Tavuklar ve Kuduz Köpekler Üzerine



On sekizinci yüzyılın sonuna doğru ABD Başkanı Thomas Jefferson Britanyalı hekim Edward Jenner'a (1749-1823) bir mektup göndererek, kendisini çiçek aşısını keşfi dolayısıyla kutladı. "İnsanlığın en büyük üzüntü kaynaklarından birini, ıstıraplar takviminden silmiş bulunuyorsunuz. Ne mutlu size ki, insanlık sizin yaşamış olduğunuzu hiçbir zaman unutmayacak; gelecek nesiller çiçek gibi korkunç bir hastalığın varlığını yalnızca tarih sayfalarından öğrenecekler." diye yazıyordu Jefferson. Başkan Jefferson'ın kehaneti iki yüzyıl sonra gerçek oldu: 1977'de Dünya Sağlık Örgütü çiçeğin en sonunda yeryüzünden tamamen silindiğini açıkladı.

Çiçek hastalığının ortadan kalkışı Dünya Sağlık Örgütü'nün, dünya hükümetlerinin ve dünyanın her köşesindeki sağlık emekçilerinin gösterdikleri muazzam çabaların sonucuydu. Her

yeni çiçek vakası dikkatle izlenmiş, bu yeni hastalarla teması olmuş herkes aşılanmıştı; ta ki bilinen son kurbanla ilişkide olan herkes aşılanana kadar... 1967'de tüm dünyada çiçek yüzünden iki milyon insan ölmüşken, 1977'den beri aynı hastalığa bağlı olarak bildirilmiş hiçbir ölüm vakası bulunmuyor (Dünya Sağlık Örgütü'nün bu hastalığın kökünün kazındığını bildirmesinden hemen sonra, kendi laboratuvarlarında kazayla çiçeğe yakalanan bazı bilim adamlarının ölümleri dışında). Bir dönem kural haline gelmiş çiçek aşısı artık yapılmıyor: Dünya çiçek hastalığını bir daha hiç görmeyecek.

Çiçeğin yeryüzünden silinişi, hastalıklara karşı savaşta aşıların ne kadar etkili olabileceğini açıkça göstermekte. Buna karşılık 1992'deki tahminlere göre her yıl yaklaşık iki milyon çocuk aşısı olan hastalıklardan ölüyor: Buysa her otuz saniyede bir, bir çocuğun öldüğü anlamına geliyor. Bilim bu aşıları bulmuş, ama yoksul ülkelerin bunlara erişimi politik, ekonomik ve başka nedenler yüzünden sınırlı. Verem, tetanos, kızamık, boğmaca, çocuk felci ve difteri, üstelik hepsinin de aşısı varken, yirminci yüzyılın sonlarında azgelişmiş ülkelerdeki çocuk ölümlerinin ana sorumluları durumunda. Söz konusu altı hastalık, Dünya Sağlık Örgütü'nün bu aşıları dünyadaki her çocuğa ulaştırmayı amaçlayan Yaygın Bağışıklık Programı'nın ana hedefi.

Bulaşıcı hastalıklara karşı bir yöntem olarak aşılamanın tarihi her ne kadar binlerce yıl geriye uzansa da günümüzde kullanılan daha güvenli aşılama yöntemleri ilk defa on sekizinci yüzyılda Jenner tarafından geliştirildi. Daha başka aşılar geliştirilene ve aşılamanın nasıl işlediği anlaşılmaya başlanana dek bir yüzyıl daha geçti. Yirminci yüzyılda bir furya halinde başgösteren aşı üretiminin ardındaki ana itkiyi ise Pasteur sağlamıştı. Günümüzde yukarıda sözü geçen altı hastalığa ek olarak kolera, sarı humma, hepatit B, grip, veba, şarbon ve kuduz da dahil birçok hastalığın önlenmesi için gerekli aşılara sahibiz. Çağdaş insanın yıkım getiren hastalıklar listesinde bir başka hastalık

daha, "edinilmiş bağışıklık eksikliği sendromu" (AIDS) başgösterdi ve dünyadaki hemen her ulusu tehdit etmekte. AIDS, Afrika'nın bazı bölgelerinde şimdiden ciddi bir sorun halini aldı. Bilim adamları yoğun bir şekilde AIDS'e neden olan insan bağışıklık eksikliği virüsüne (HIV) karşı aşı aramaktalar.

Çağdaş aşıların tarihi, bir zamanlar insanın yakalanabileceği en korkunç ve yaygın hastalıklardan biri olan çiçekle başlar. Bereket versin, gelecek nesiller o ürkütücü belirtilerle hiçbir zaman karşılaşmayacaklar.

Lady Montagu, Kabile Doktorları ve Variolasyon

Çiçeğin belirtileri çok eskilerde bile gayet iyi bilinmekteydi. Bu hastalık zengin yoksul demeden herkese musallat oluyordu. Hatta üç bin yıldan fazla zaman önce yaşamış Mısırlı firavun V. Ramses'in mumyalanmış kalıntılarında bile çiçek hastalığının izlerine rastlanmıştır. Söz konusu hastalık ağrı, aşırı halsizlik, iştah kaybı ve ateşle başlıyor, ardından özellikle yüzde ve gövdede ilk başta küçük kabarcıklardan oluşan döküntüler beliriyordu. Kabarcıklar sonradan irin topluyor ve ürkütücü bir görüntü yaratıyordu, çoğunlukla ateş de yükseliyordu. Birçokları çiçekten ölüyor, sağ kalanlarda ise kabarcıklar kuruyup, çoğunlukla yüzde kalıcı izler bırakıyordu. On sekizinci yüzyıl öncesinde İngiltere'de her beş kişiden biri çiçekten ölmekteydi ve neredeyse herkes eninde sonunda bu hastalığa yakalanıyordu. Çiçeğin yaygın sonuçlarından biri de körlüktü. İngiltere nüfusunun yarısının yüzü bu hastalık sonucunda çiçekbozuğu olmuştu.

Çiçek virüsü vücut dışında da aylarca, hatta yıllarca canlı kalabiliyor ve bir insandan diğerine çoğunlukla çamaşırlar veya tozla geçiyordu. On altıncı yüzyılın başlarında ABD'ye gelen sömürgeciler Amerikan Yerlileri'ne karşı giriştikleri mikrop savaşında silah olarak çiçek mikrobu bulaştırılmış battaniyeler ve mendiller kullanmışlardı. Sömürgecilerin gelişinden önce çiçek hastalığını bilmeyen Yerliler, bu hastalığa yakalanmaya özellikle yatkındı.

Çiçeğe karşı nasıl korunulacağı, Jenner on sekizinci yüzyıl sonlarında kendi aşılama yöntemiyle ortaya çıkmadan önce de bilinmekteydi. Bir kere çiçek olmuş kişinin bir daha bu hastalığa yakalanmayacağını bilmeyen yoktu. Nasıl oluyorsa, bir enfeksiyon yeni enfeksiyonlara karşı bağışıklık sağlıyordu. Eski Çinliler ve Hintliler, çiçek kurbanlarının yaralarının kurumuş kabuklarını burunlarına çekerlerdi. Bu yöntem çoğu zaman enfeksiyona karşı bir miktar koruma sağlıyordu. Bir başka yöntem ise hastalıklı bir insandaki kabarcıklardan alınan sıvının, hastalığa henüz yakalanmamış bir kişinin kolunda açılan küçük bir kesiğe nakledilmesinden oluşmaktaydı; bu yöntem de çiçeğe karşı bağışıklık sağlıyora benziyordu.

Çiçek döküntülerinden alınma sıvıyı bir insana şırınga etme uygulamasına "**variolasyon**" denmekteydi: *Variola* Latince çiçek hastalığı demektir. Variolasyon çok az miktarda çiçek virüsünün aktarılmasından oluştuğu için, bu uygulamanın yapıldığı kişilerde düşük seviyede çiçek enfeksiyonu oluşuyor, bu enfeksiyonun atlatılması kişiyi sonraki enfeksiyonlardan koruyordu. Öte yandan, variolasyon yönteminin uygulandığı kişi tam anlamıyla hastalanmış olduğu için, hastalığı başkalarına da bulaştırabilirdi. Ayrıca bir de variolasyon uygulaması sırasında çok fazla virüsün aktarılması tehlikesi vardı ki, bu durum uygulamanın yapıldığı kişilerden bazılarının çiçekten ölmesine veya hastalığın kalıcı izler bırakmasına yol açıyordu.

Variolasyon epeyce bir süredir Çin, Hindistan ve Ortadoğu'da uygulanmasına rağmen, on yedinci yüzyıla kadar batıda bilinmiyordu. Bu yöntem Britanya'ya 1717'de, Türkiye'deki Britanya Büyükelçisi'nin eşi Lady Mary Wortley Montagu (1689-1762) tarafından getirildi. Cildi çiçek hastalığı yüzünden delik deşik olmuş pek çok güzel hanımdan biri olan Lady Montagu'nun, Türkiye'deki variolasyon uygulaması dikkatini çekmişti. Dönüşünde variolasyonun İngiltere'de uygulanmasını sağladı ve zamanla söz konusu yöntem orada da yaygınlaştı. Birkaç yıla kalmadan, Londra'daki variolasyon uygulaması ya-

pılmış kişilerde rastlanan çiçeğe bağlı ölümler, bu işlemden geçmemiş kişilere oranla onda birc düşmüştü.

Variolasyon Afrika'daki kabileler arasında da uygulanmaktaydı: Kabile doktoru, çiçek hastalığına yakalanmış kişideki kabarcıklardan ya da variolasyon uygulaması yapılmış birinin kolundan aldığı sıvıyı, hasta olmayan kişiye aktarırdı. Bu yöntem, köle ticaretinin bir sonucu olarak on yedinci yüzyılın başlarında ABD'ye de gelmiş oldu. Katı ve bağnaz bir adam olan Cotton Mather (1663-1728) Afrikalı kölelerinden birinin önceden Afrika'da variolasyondan geçmiş olduğunu keşfetti ve sömürge dönemi Massachusetts'ını bu uygulamayla tanıştırdı.

Variolasyon yönteminde yapılan iyileştirmelerle birlikte, çiçekten ölüm oranı önemli ölçüde düştü. On sekizinci yüzyıl sonlarına doğru on binlerce insan variolasyondan geçmişti; bunlar arasından yalnızca birkaç kişi çiçek yüzünden ölmüştü. Variolasyon işleminin yapıldığı ve bu işlemden geçmiş (hastalığı bulaştırma riski olan) kişilerin hafif belirtiler kaybolana dek, yani birkaç ay boyunca toplumun geri kalanından yalıtılmış halde tutulduğu çiçek aşısı hastaneleri yaygın hale gelmişti. Hatta çoğu zaman, karantina dönemini beraber geçirebilmeleri için arkadaş gruplarına hep birlikte variolasyon uygulaması yapılmaktaydı.

Ulaştığı muazzam başarıya rağmen variolasyonun tehlikeleri de yok değildi. Ayrıca variolasyon uygulanan hastanın karantinada, yani işinden ve ailesinden uzakta bir süre geçirme zorunluluğu da vardı. Edward Jenner bu uygulamaya son verdi ve onun yerine bu korkunç hastalık 1977'de gezegenimizden tamamen silinene değin çiçeğin önlenmesinde kullanılmaya devam edilen daha güvenli bir yöntem geliştirdi.

Jenner, İnek Çiçeği ve Aşılama

Edward Jenner 1749'da Gloucestershire'da (İngiltere) doğdu. Küçük bir çocukken, çiçek hastalığına karşı yaygın olarak kullanılan variolasyon yöntemi ona da uygulanmıştı. On üç ya-

şına geldiğinde ailesi doktorluk eğitimi almasına karar verdi, böylece Jenner bir cerrahın yanında çıraklığa başladı. Yirmi bir yaşında Londra'ya giderek, ilk ameliyat aletlerinden birçoğunun yaratıcısı Britanyalı büyük cerrah John Hunter'ın (1728-1793) öğrencisi oldu. Daha sonra taşra hekimliği yapmak üzere Gloucestershire'a geri döndü.

Jenner'ın hastaları arasında çiçek çıkarmakta olduğundan kuşkulandığı bir sütçü kız vardı. Ne var ki, kız çiçeğe yakalanmasının mümkün olmadığını, çünkü inek çiçeği çıkarmış inekleri de sağdığı için çoktan inek çiçeği geçirdiğini söylüyordu. Gloucestershire'da, bir kere inek çiçeği geçirmiş sütçü kızların ve inek çobanlarının çiçeğe bağışıklık kazandığını iddia eden bir kocakarı masalı dolaşmaktaydı. Jenner bu söylentiyi daha ayrıntılı olarak araştırınca, inek çiçeği geçirmiş çok sayıda sütçü kızın sonradan gerçekten de çiçek hastalığına yakalanmadığını öğrendi. İnek çiçeği ineklerde görülen bir hastalıktı, hayvanların memelerinde çıkan ve çiçek hastalığının insanlarda neden olduğu kabarcıklardan pek farkı olmayan kabarcıklarla kendini gösteriyordu. Bazıları bu hastalığın, insanlardaki çiçek hastalığının ineklerde aldığı biçim olduğunu düşünüyordu. Hastalıklı bir memeden, insanın elindeki bir kesiğe geçebiliyordu. Hastalığı kapan sütçü kızların parmaklarında, çiçek hastalığında görülenlere çok benzer inek çiçeği döküntüleri ortaya çıkıyordu, ama belirtiler hafif oluyor ve sütçü kızlar birkaç gün içerisinde tamamen iyileşiyordu.

Yaptığı gözlemler sonucunda Jenner'ın sütçü kızların çiçek hastalığına gerçekten de bağışık olduklarından kuşkusu kalmamıştı. 1796'da kuramını sınamaya karar verdi. Parmağına bir diken batmasının ardından babasının ineklerinden birini sağdığı için inek çiçeği kapmış Sarah Nelmes adında bir kızın parmaklarındaki inek çiçeği döküntülerinden bir miktar sıvı aldı. Ardından temiz bir neşter aracılığıyla bu sıvının birazını James Phipps adında sekiz yaşındaki bir oğlan çocuğunun sol kolunda açtığı iki küçük kesiğe aktardı. Bu çocuk önceden variolasyon-

dan geçmemişti ve çiçek hastalığına da hiç yakalanmamıştı. Birkaç gün sonra küçük Phipps'in biraz ateşi çıktı, ama aynı sütçü kızların inek çiçeğini atlatmaları gibi, çabucak iyileşti. Yaklaşık iki ay sonra Jenner çiçek mikrobu içeren bir miktar sıvıyı, tıpkı herhangi birine normal yolla variolasyon uyguluyormuş gibi Phipps'e şırınga etti. Jenner'ın tahmin ettiği gibi, Phipps'te herhangi bir çiçek hastalığı belirtisi ortaya çıkmadı. Bu uygulama inek çiçeği sıvısının bir insandan diğerine kasıtlı olarak aktarıldığı ilk örnekti. Aşı malzemesi olarak insanlarda görülen çiçekten yararlanılmadan çiçeğe karşı aşılanan ilk insan da Phipps oldu. "Aşı" sözcüğünün İngilizcesi olan "*vaccine*" Latincede inek anlamına gelen "*vacca*" sözcüğünden gelir. Jenner şöyle yazıyordu:

> "Hastalığı efendisinin ineklerinden kapmış bir genç kadının elindeki irinli kabarcıktan alınan sıvı, Phipps'in koluna şırınga edildi. Hastalıkla normalde izlediği yol dışında, yani inekten sütçünün eline iletildiği durum dışında hiç karşılaşmamış olduğumdan, kabarcıkların bazı aşamalarda variolus [çiçek] kabarcıklarına olan yakın benzerliğinden hayrete düştüm. Şimdi de hikâyemin en keyifli bölümüne kulak verin: Çocuğa bundan sonra çiçek şırınga edildi ve önceden de naçizane tahmin ettiğim gibi, hiçbir etki yaratmadı." (Alıntı: Fisher, R. B., 1990)

Jenner 1797'de çiçek hastalığından inek çiçeği aşısıyla korunma fikrini ve ilgili deney sonuçlarını, yayımlanması için Londra Kraliyet Derneği'ne sundu. Yazısı geri çevrildi, çünkü gerçekten de Jenner'ın iddiasını destekleyecek kadar verisi yoktu. İnek çiçeğinin çiçeğe karşı koruma sağlayabileceği fikri, genelde zaten saçma bulunmaktaydı. Kraliyet Derneği Başkanı, Jenner'a günün herkesçe kabul gören fikirlerine böylesine ters düşen bilgiler yayımlamaya çalışarak ününü tehlikeye atmaması gerektiğini söyledi. Ama Jenner elindeki sonuçlardan öylesi-

ne emindi ki, inek çiçeği kabarcıklarından alınma sıvıyla başarılı aşılamalar gerçekleştirmeye devam etti ve çalışmalarını kendi bastırdığı küçük bir kitapçık halinde yayımladı.

İnek çiçeğine Gloucestershire'da pek sık rastlanmıyordu; dolayısıyla Jenner da insanları daha yeni aşılanmış birindeki inek çiçeği kabarcıklarından alınma irinli sıvıyla aşılamaya karar verdi. Bu koldan kola aşılamayı defalarca yineleyen Jenner, hastalığı kısa bir süre önce inek sağarken kapmış kişilere gerek kalmadan da aşılama yapılabildiğini fark etti.

Jenner'ın aşılama yöntemine karşı çok büyük bir muhalefet vardı. Kullanılmaya başlandığı ilk günlerde, yöntemle ilgili bazı sorunlar ortaya çıkmıştı: Zaman zaman aşılama doğru yapılamıyor ve hasta sonradan çiçeğe yenik düşüyordu. Hatta hastanelerden biri kaza eseri çiçek sıvısını inek çiçeği sıvısıyla karıştırmış, bu da feci sonuçlara yol açmıştı. Bütün bunlara rağmen, Jenner'ın elde ettiği sonuçlar birçok hekim tarafından tekrarlandı ve inek çiçeği virüsüyle aşılama yaygın şekilde kullanılmaya başlanarak hızla dünyanın uzak köşelerine kadar yayıldı. Jenner'ın adı her yerde duyuldu. ABD'ye de gönderdiği aşı, burada da geniş çapta uygulamaya konuldu. Başkan Jefferson bile ailesini aşılattı. Edward Jenner'ın aşılama yöntemi zamana direndi.

Louis Pasteur mikroplar üzerine yaptığı incelemeler sonucunda başka hastalıkları önlemek için de benzer yöntemler geliştirene kadar, çiçek hastalığı aşılama yoluyla önlenebilen tek hastalık olarak kaldı. Çiçek aşısına ilişkin en olağanüstü şeylerden biri, henüz kimsenin bulaşıcı hastalıklara mikroskobik canlıların yol açtığının farkında olmadığı bir dönemde üretilmiş olmasıdır. Çiçeğe neyin yol açtığı bilinmiyordu, ama hastalık aşılamayla önlenebiliyordu.

Louis Pasteur ve Zayıflatılmış Aşılar

Louis Pasteur ve Robert Koch 1870'lerde, özellikle de şarbon basili üzerine yaptıkları araştırmaların sonucunda, hastalığın

mikrop kuramının yerleşmesini sağlamışlardı (XI. Bölüm). Pasteur bulaşıcı hastalıkların iyi bilinen bazı özellikleri üzerine derinlemesine düşünmeye koyuldu. Örneğin, bazı hastalıklara belli koşullar altında maruz kalmak niçin o hastalıklara karşı bağışıklık yaratıyordu. Çiçek hastalığını sağ olarak atlatan kişilere bu hastalığın bir daha kolay kolay bulaşmadığı gayet iyi bilinmekteydi, zaten variolasyonun ardındaki ilke de bu olguydu. Başka hastalıklar, örneğin kızamık ve suçiçeği de enfeksiyonun tekrarına karşı benzer bir bağışıklık özelliği sergiliyordu. Pasteur ayrıca o gün için sadece çiçek hastalığına uygulanabilen aşılamanın nasıl işlediği konusunda da kafa yormaya başladı. Acaba başka hastalıklara karşı da aşı geliştirmek mümkün olacak mıydı. On dokuzuncu yüzyılın sonunda, bilim adamları Jenner'ın çiçek aşısının özelliklerini tartışmaktaydılar. Bir grup bilim adamı inek çiçeği ile çiçeğin apayrı ve birbirinden bağımsız iki hastalık olduğunu, inek çiçeğinin çiçeğe karşı sağladığı korumanın bilinmeyen bir nedenden kaynaklandığını düşünüyordu. Diğer grup ise inek çiçeğinin çiçeğin zayıflamış bir biçimi olduğunu, başlangıçta çiçekten türediğini, ancak inekten geçerek aktarıldığında yapısını değiştirerek, insanlara daha az zararlı hale geldiğini düşünüyordu.

Bağışıklığa ilişkin göz önünde tutulması gereken bütün bu hususların Pasteur'ün de aklını kurcalamakta olduğuna kuşku yok. Kendisi, büyük olasılıkla bunları deneysel olarak nasıl ele alabileceğini tasarlamakla meşguldü. Ne var ki, bazı sorularının yanıtlarını rastlantısal olarak buldu. Rastlantıyla elde ettiği bulgular, neredeyse yüz yıldır yalnızca çiçek hastalığına özgü bir işlem olan aşılamayı genel bir olguya dönüştürdü.

Pasteur'ün olası yeni aşı türleriyle gerçek anlamda ilk yüz yüze gelişi tavuk kolerasını incelemeye başlamasıyla gerçekleşti. Bu hastalık, çiftlik tavuklarında ve yavru horozlarda salgın haline gelmesi dolayısıyla Fransız çiftçilerini yakından ilgilendirmekteydi. Tavuk kolerası, tavukların ve yavru horozların sendelemeye başlamasına, ardından da bilinçlerini kaybedip ölme-

sine yol açıyordu. Sağlıklı tavuklar hastalığı, hastalıklı tavukların dışkılarının bulaştığı yemler aracılığıyla kapıyordu. Pasteur ve Koch'un şarbondan bir mikrobun sorumlu olduğunu kanıtlamalarına çok benzer bir yöntemle, bu hastalığa da bir mikrobun neden olduğu çoktan ortaya çıkarılmış bulunuyordu.

Pasteur tavuk kolerasından sorumlu mikroorganizmayı kültür sıvısında yetiştirmek ve tavuklardaki hastalığa gerçekten de bunun yol açtığını doğrulamak istiyordu. Bu hastalığa yakalanmış bir yavru horozun kafasını aldı ve değişik kültür sıvılarını deneyerek hangisinde bu mikrobun daha iyi üreidiğini araştırmaya başladı. Tavuk kolerası mikrobunun başka mikroplarca, örneğin şarbon basilince yeğlenen koşullardan epey farklı büyüme koşullarını yeğlediği Pasteur'ün gözünde giderek açıklık kazandı ve en sonunda kolera bakterilerini tavuk kıkırdağını kaynatarak elde ettiği kültür sıvısında yetiştirmeyi başardı. Mikrobu laboratuvar şişelerinde, herhangi bir tavuğun varlığına gerek kalmadan yetiştirmenin bir yolunu bulmuştu, artık bu mikrobu ayrıntısıyla incelemeye hazırdı.

Pasteur laboratuvarında ürettiği tavuk kolerası mikroplarının tavuklarda ileri derecede enfeksiyona yol açtığını buldu; hastalıklı tavukların kanı her defasında büyük miktarlarda mikrop içermekteydi. Tavuk kolerasının nedeni gerçekten de bu mikroptu. Laboratuvarda yetişmiş bakteriler kültür şişelerine taze kültür sıvısı eklenerek beslendiğinde de, mikroplar şırınga edildikleri tavuklarda ileri derecede enfeksiyon yaratmayı aynen sürdürdü. Pasteur 1879 yazında Temmuz'dan Ekim'e kadar tatile çıktı. Ama tatil dönüşünde kullanıma hazır olmaları için, laboratuvarında tavuk kolerası mikrobu içeren birkaç kültür şişesi bıraktı.

Pasteur laboratuvarına geri döndüğünde kolera mikrobu içeren ve tatil boyunca beklemiş olan eski kültür sıvısını bir miktar tavuğa şırınga etti. Tavukların hiçbiri koleraya yakalanmayınca bakterilerin uzun süre ilgisiz bırakılmaktan dolayı ölmüş olduğunu düşündü. Dolayısıyla hastalıklı bir tavuktan alınma

yeni bir parti kolera mikrobuyla taze bir kültür başlatmaya karar verdi. Bu taze kültürü *aynı* tavuklara, yani önceden eski kültürü şırınga ettiği ve sonuçta hastalanmamış olan tavuklara şırınga etti. Ayrıca, bazı yeni (daha önceden bir şey şırınga etmediği) tavuklara da aynı taze kolera mikrobu kültüründen şırınga etti. Pasteur taze kolera mikroorganizması şırınga ettiği tavukların yalnızca bir bölümünün hastalığa yakalandığını görerek şaşırdı: Diğerlerine hastalık dokunmamıştı bile! Elindeki sonuçları biraz daha dikkatlice gözden geçirince, taze bakteri kültürü şırınga edildiği halde hastalığa yakalanmayan tavukların, daha önceden yaz tatili boyunca beklemiş "bayat" kültürün şırınga edildiği tavuklar olduğunu keşfetti. Bu bayat mikrop kültüründen almamış tavukların hepsi de koleradan ölmüştü.

Birçok bilim adamı bu deneysel gözlemi önemsiz sayarak bir kenara atabilirdi, ama Louis Pasteur asla! Pasteur, Jenner'ın çiçek aşısı üzerine yeterince bilgi sahibiydi. Jenner'ın aşılama yöntemiyle kendi elde ettiği sonuçlar arasındaki olası koşutluğu görmesi pek zor olmadı. Belki de eski kültürlerdeki bakteriler artık koleraya yol açmayacak, ama öldürücü normal koleranın yeniden bulaşmasına karşı koruma sağlayacak şekilde değişime uğramış, yani zayıflamıştır, diye düşündü. Bu durumda zayıflamış mikrobun Jenner'ın inek çiçeği aşısına karşılık gelmesi söz konusuydu. Bir farkla: İnek çiçeğinin çiçekten türeyip türemediği henüz açık değilken, Pasteur bu zayıflamış kolera mikrobunun doğrudan doğruya hastalık yapan öldürücü türden gelmekte olduğundan kesinlikle emindi.

Sonraki deneyler de zayıflatılmış kolera mikroplarının tavukları öldürücü kolera bakterisi enfeksiyonlarından koruduğunu doğruladı. Pasteur zayıflama olayına yol açan şeyin havanın varlığı olduğunu keşfetti: "Açık" (ağızları pamukla tıkanmış) şişelerde yetiştirilen kültürler kolayca zayıflarken, ağızları sımsıkı kapatılmış şişelerde yetiştirilen kültürler zayıflamıyordu. Pasteur kültür şişesine taze kültür sıvısı ekleme işlemleri arasındaki süre uzadıkça, mikropların zayıflama derecesinin gitgide

arttığını ortaya çıkardı: Havalı ortamda yetiştirilmiş en eski kültürler, en zayıf kültürlerdi.

Pasteur, Jenner'ın geliştirdiği çiçek aşısından beri ilk defa bir başka hastalığa karşı aşı üretmiş bulunuyordu. Önceleri sadece çiçek aşısı için kullanılan "aşı" sözcüğünü mikroorganizmaların yol açtığı enfeksiyonlara karşı bağışıklık sağlayan tüm aracı maddeler için kullanmaya başlayan da Pasteur oldu. Daha da önemlisi Pasteur tavuk kolerası üzerine çalışmalarının, gelecekte üretilebilecek aşılar açısından olağanüstü önemli olduğunu düşünüyordu. Öyle ya, artık bir enfeksiyona yol açan organizmayı kültür şişesi içinde zayıflatmak ve bu zayıflatılmış organizmayı, bir hayvanı hastalığın kendisinden korumak amacıyla aşı olarak kullanmak mümkündü. Enfeksiyona aracılık eden maddelerin laboratuvarda uygun biçimde yönlendirilmesiyle birçok hastalığın aşısının elde edilebileceği şeklinde genel bir ilke keşfetmiş olduğu umuduyla, çalışmalarının yönünü hiç zaman kaybetmeden tavuk kolerası dışındaki hastalıklara çevirdi.

1880 ile 1884 yılları arasında, Pasteur ve beraberinde çalışanlar başka üç hastalığın daha aşılarını geliştirdiler: Şarbon, kuduz ve domuz yılancığı. Çiçekten sonra herhangi bir başka hastalığa karşı aşı bulmak neredeyse yüz yıl sürmüşken, Pasteur sadece dört yıl içinde birçok hastalığa karşı aşı elde edilebileceğini kanıtlamıştı. Tavuk kolerasındaki büyük başarısının hemen ardından dikkatini şarbona çevirdi.

Şarbonun zor koşullarda da yaşamayı sürdüren yüksek dirençli sporlar biçimini alabildiği biliniyordu. Şarbonlu hayvanların cesetlerinin gömüldüğü alanlarda, toprakta şarbon sporlarına rastlanmıştı; bunlar, hayvanlar gömüldükten on yıllar sonra bile öldürücü hallerini korumaktaydı. Şarbon araştırmaları sırasında Pasteur, bölge çiftliklerini sık sık ziyaret ediyordu. Bu ziyaretlerden birinde, üzerlerinde çalışmakta olduğu sekiz koyunun tutulduğu çevrilmiş alanda olağandışı bir şey dikkatini çekti: Buradaki toprağın bir bölgesi, kalanından farklı renkteydi. Üzerinde çalıştığı koyunlara şarbon kültürü şırınga ettiği za-

man, hayvanlardan bazılarının hastalığa yenik düşmediğini gördü. Verdiği basil dozunun normalde öldürecek denli yüksek olduğu göz önünde tutulursa, bu oldukça şaşırtıcı bir keşifti. Toprak sahibi çiftçi Pasteur'e toprağın farklı renkte olduğu bölgeye bir zamanlar şarbonlu bir koyunun gömülmüş olduğunu söyledi. Pasteur buradaki topraktan çıkardığı solucanları mikroskop altında inceledi: Solucanların içindeki toprakta şarbon sporları vardı. Acaba hayatta kalan koyunlar toprağın özellikle bu bölümündeki çimenleri yemiş ve öldürücü olmayan bir dozda şarbon basili almış, dolayısıyla da sonraki enfeksiyonlara karşı bağışıklık edinmiş olabilir mi, diye düşündü Pasteur. En azından, solucanların gömülü cesetlerden toprağın yüzeyine şarbon sporlarını taşıyabildiği açıktı. Pasteur şarbondan ölmüş hayvanların hiçbir koşulda otlak olarak kullanılan alanlara gömülmemesi gerektiği, çünkü otlayan hayvanların toprağın üstüne çıkabilecek tehlikeli şarbon sporlarını da yutarak öldürücü dozda spor alabileceği konusunda çiftçileri bilgilendirdi ve böylece, şarbonun yayılmasının denetlenmesinde önemli bir adım atmış oldu.

Tavuk kolerası mikrobunu zayıflatmakta kullandığı yöntemin şarbonda işe yaramayacağı Pasteur için gayet açıktı: Bayat şarbon basili kültürlerini havaya maruz bırakmak, ancak bunların daha da dayanıklı sporlar oluşturmasına yarıyordu. Oysa gereken şey, sporların oluşmasının önüne geçecek bir yöntemdi. Pasteur ve beraberinde çalışanlar epeyce bir deneyden sonra, kültür sıvısındaki şarbon basillerinin 45 santigrat derecenin üstündeki sıcaklıklarda büyümeyi başaramadığını ve hiçbir spor da oluşturmadığını buldular. Buna karşın sıcaklık çok az düşürülüp 42 veya 43 santigrat dereceye getirildiğinde şarbon basilleri kültür sıvısında üremeyi sürdürüyor ama spor oluşturmuyordu. Şarbon basillerini 43 santigrat derecede birkaç hafta boyunca çoğaltmak ise basillerin şırınga edildikleri hayvanlarda hafif bir hastalıktan fazlasına yol açmayacak kadar zayıflatılmasına yetmekteydi. Bu şekilde zayıflatılmış şarbon basili şırınga

edilmiş hayvanlara ardından öldürücü dozlarda şarbon basili verildiğinde, hayvanlar hastalığa yakalanmıyordu.

Pasteur şarbona karşı bir aşı üretmişti. Ekibinin elde ettiği sonuçlara inancı her ne kadar tam olsa da bazı çevreler, özellikle de hekimler ve veterinerler konuyla ilgili kuşkularını dile getirdiler. Ayrıca daha sırada, Pasteur'ün aşısının dendiği gibi etkili olup olmadığının halka açık bir gösteri biçiminde sınanacağı, kalabalık bir izleyici topluluğunun deneyi başından sonuna kadar sanki sirkte bir numara izler gibi izleyeceği en zorlu sınav vardı. Bu ünlü gösteri 1881 yılında Fransa'da, Pouilly le Fort diye anılan bir çiftlikte gerçekleşti ve aşılamanın çiçek dışındaki hastalıklar için de önemi bilim adamlarının, hekimlerin, veterinerlerin ve kamuoyunun gözü önünde temelli olarak kanıtlanmış oldu.

Pasteur'ün şarbon aşısı gösterisi, bir veterinerin ve yerel tarım topluluğunun ortak çabasıyla düzenlenmişti. Pasteur izleyicilerin gözü önünde bir grup çiftlik hayvanını aşılamaya, ardından da hem bu aşılanmış hayvanlara, hem de bir grup aşılanmamış hayvana öldürücü dozda şarbon basili vermeye davet edildi. İzleyiciler birkaç hafta sonra tekrar toplanarak hayvanları inceleyecekler ve aşının işe yarayıp yaramadığına karar vereceklerdi. Pasteur deneysel bulgularına her zamanki güveniyle, üstelik bu defa ünü tehlikede olmasına rağmen, bu daveti kabul etti. Pasteur'ün bir şarbon aşısı üretebileceğine inanmayan bazı kişilerden yükselen kuşku dolu sesler azımsanmayacak miktardaydı. Kimileri şarbona mikropların yol açtığı fikrini hâlâ benimseyemiyordu!

Pouilly le Fort gösterisi için büyük bir tanıtım kampanyası yapıldı. İnsanları katılmaya özendirmek için broşürler basılıp dağıtıldı. Sonunda aşı günü gelip çattığında, Pasteur ve birlikte çalıştığı kişiler büyük bir izleyici topluluğuyla karşılaştılar. Pasteur'ün zayıflatılmış şarbon aşısı yirmi dört koyuna, beş ineğe, bir öküze ve bir keçiye şırınga edildi. Yirmi dört koyun, dört inek ve bir keçi de aşılanmadan bırakıldı. Ardından Paste-

ur çiftlikte bir konuşma yaparak deneyin sonucuna ilişkin tahminini söyledi ve bu aşıya hangi yöntemlerle ulaştığını özetle açıkladı.

On iki gün sonra, aşılanmış hayvanlar zayıflatılmış şarbon aşısıyla bir kez daha aşılandı; çünkü laboratuvar deneyleri sonraki enfeksiyonlara karşı en yüksek bağışıklığın çifte aşıyla sağlandığını göstermişti.

İkinci aşılamanın ardından hayvanların hepsi de hâlâ sağdı. Bir sonraki adım, hastalığı başlatmaya yarayacak ölümcül şarbon basillerinin hayvanlara şırınga edilmesinden ve böylece aşının etkili olup olmadığının saptanmasından oluşuyordu. Pasteur "Eğer tam başarı sağlanırsa, içinde bulunduğumuz yüzyılın en parlak uygulamalı bilim örneklerinden biri olacak." diyordu İkinci aşılamadan iki hafta sonra, tüm aşılanmış hayvanlara ve kontrol hayvanlarına (yani aşılanmamış olanlara) Pasteur'ün laboratuvarında yetiştirilmiş şarbon kültüründen ölümcül dozlarda şırınga edildi. Kuşkuculuk öyle had safhadaydı ki gösteriyi izleyenlerden bazıları, Pasteur'ün önceden aşılanmış hayvanlara, aşılanmamış olanlara verdiğinden daha düşük dozda şarbon vererek bu son aşılama işleminde hile yapabileceğinden şüphelendiler. Bir kişi şarbon basili içeren tüpün iyice karıştırılıp karıştırılmadığını, başka birisi aşıların gerektiği gibi yapılıp yapılmadığını kontrol etti ve hayvanlara Pasteur'ün ilk başta tasarladığından daha yüksek dozlarda bakteri verildi. Pasteur, izleyiciler her şeyin dürüstçe ve doğru olarak yapıldığından emin olduğu sürece, hiçbir değişikliğe ses çıkarmamayı uygun buldu. Böylelikle, eğer tahminleri doğrulanırsa, hiç kimse şarbon aşısını eleştiremeyecekti.

Pasteur'ün hayvanlara öldürücü şarbon şırınga edilişinin ardından kaygı duyduğu muhakkaktı: Hem kendi ünü, hem de aşısınınki tehlikedeydi. Gösterinin sonucu ise birkaç gün içinde, mikrop verilmiş hayvanlar şarbondan ölmeye başladıklarında belli olacaktı. Mikrop verilişinin ertesi günü, Pasteur aşılanmış hayvanlardan bazılarının hastalandığı haberini aldı ve doğal

olarak tedirgin oldu. Ama aynı günün daha sonraki saatlerinde, hayvanların artık çok daha iyi olduğu haberi geldi. Birkaç gün sonra ise Pasteur'ün bir zafer kazandığı artık apaçık belliydi. Aşılanmış hayvanların hepsi de sağlıklıyken, aşılanmamış yirmi dört koyundan yirmi biri şimdiden ölmüştü. Hayattakilerden ikisi gösteriyi izlemeye gelenlerin gözlerinin önünde öldü. Aşılanmamış son koyun da aynı gün daha sonra öldü. Aşılanmamış ineklerin dördünün de şarbondan her yerleri şişmişti ve ateşleri vardı, aşılanmamış keçi ise şarbondan ölmüştü. Sonraki birkaç gün içinde, aşılanmış hayvanlardan sadece bir tanesi öldü, ama bu koyun da gebelikle ilgili sorunlardan dolayı ölmüştü: Kanında hiç şarbon basili yoktu.

Pasteur muhaliflerini susturmuş ve Fransa'da ulusal bir kahraman olmuştu. Bulduğu zayıflatılmış şarbon aşısı tüm Fransa'da ve yurtdışında yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Fransa'daki büyükbaş hayvanlarda görülen şarbon vakalarının sayısı eskisinin neredeyse on beşte birine düştü. Pasteur'ün başarıları sayıca çok ve çeşitliydi (XI. Bölüm): Molekül bakışımsızlığını keşfetmiş, mayalanmanın mikrop kuramını kanıtlamış, kendiliğinden türeme kavramının doğru olmadığını göstermiş, hastalığın mikrop kuramını doğrulamış ve son olarak da tavuk kolerasıyla şarbona karşı aşı geliştirmişti. Ama sırada dahası da vardı. Pasteur domuz yılancığına karşı bir aşı geliştirdi, bu kez zayıflatma işlemini mikrobu laboratuvar tavşanlarından geçirerek yapmıştı. Bu süreç sonucunda mikrobun domuzlar için öldürücülüğü ortadan kalkıyor ve sonraki enfeksiyonlara karşı koruma sağlanıyordu. Ardından da ünlü kuduz aşısı geldi.

O dönemde insanlarda kuduz Fransa'da pek yaygın sayılmazdı: Bu hastalıktan yılda sadece birkaç yüz kişi ölüyordu. Bununla birlikte kuduzun dehşet verici belirtileri herkesçe bilinmekte, hastalığı iyileştirmeye çalışırken çok sert yöntemlere başvurulmaktaydı. Belirtiler kurbanın kuduz bir hayvan (çoğunlukla bir köpek veya kurt) tarafından ısırılmasından çoğunlukla bir ay ya da daha uzun bir süre sonra ortaya çıkıyordu.

Hastalık sinir sistemini etkiliyor, yerinde duramama haline, saldırganca davranışlara, hastaların nöbetler ve felç geçirmesine neden oluyordu. Çoğu kurban suya karşı korkuyla tepki verdiğinden, bu hastalık hidrofobi adıyla da anılmaktaydı. Ölüm, belirtilerin ortaya çıkışını izleyen ilk hafta içerisinde gerçekleşmekteydi. Kuduz kurbanı insanların acılarına son vermek için kasıtlı olarak öldürülmesi pek de nadir olaylardan sayılmazdı. Bazen de kuduz köpeklerce daha yeni ısırılmış kişilerin yaraları, kuduzun tüm vücudu ele geçirmesini önleyebilmek umuduyla kızgın bir demirle dağlanıyordu.

Kuduzun bulaşıcı olduğu ve hastalıklı hayvanların tükürüğünde bulaşıcılığı yaratan mikrobun bulunduğu bilinmesine rağmen, henüz hiç kimse bu mikrobu teşhis edememişti. Pasteur epeyce bir zamanını kuduz mikrobunu aramaya adadı, ama böyle bir mikrop bulamadı. Şimdi artık bunu nedenini biliyoruz: Kuduza yol açan bir bakteri değil virüstür. Virüsler bakterilerden çok daha ufak oldukları için on dokuzuncu yüzyılın mikroskoplarıyla görülmeleri olanaksızdı. Aynı durum çiçek için de geçerliydi: Bu hastalık da bir virüsten kaynaklandığı için, kimse mikroskop altında herhangi bir hastalık yaratıcı organizma teşhis edememişti. Ama kuduz mikrobunu bulamamak Pasteur'ü yıldırmadı: Hastalığın bulaşıcı olduğu besbelliydi ve mikrop kökenli bir hastalığın bütün özelliklerini sergilemekteydi. Hastalıklı köpeklerin veya insanların tükürüğü tavşanlara şırınga edildiğinde kuduz belirtileri oluşuyordu, yani bu görünmez mikrobun tükürükte bulunduğu kesindi. Hastalığı bulaştıran madde beyinde ve omurilik malzemesinde de bulunmaktaydı, çünkü bunlar da deney hayvanlarında kuduz yaratmak için kullanılabiliyordu.

Pasteur bu görünmez kuduz virüsünü her zamanki kültür sıvılarında yetiştirmenin mümkün olmadığını fark etti. Şimdi artık bunun da nedenini biliyoruz: Virüsler kendi başlarına çoğalamaz, içinde çoğalabilecekleri bir bedenin canlı hücrelerini gereksinirler. Günümüzde virüsler laboratuvarlarda, içinde ya in-

sandan ya da başka bir hayvandan alınmış hücrelerin yalıtılmış halde bulunduğu şişelerde yetiştirilir. Kuduz virüsünü kültür sıvısında büyütememesi her ne kadar Pasteur'ün önünde bir engel teşkil etse de, onu olası bir kuduz aşısını aramaktan alıkoyamadı. Tersine, Pasteur bu virüsü canlı hayvanların bünyesinde yetiştirmek için bir yöntem geliştirdi. Bu çalışmaların bir bölümü hayvanların acı çekmesine neden olduğundan Pasteur'e üzüntü veriyordu. Ama kendisi aynı zamanda hayvanlarına karşı son derece sevecen ve yumuşak yaklaşımıyla da ün salmıştı. Öyle ki zaman zaman sırf onları düşündüğü için deneyleri erteliyordu. Canlı hayvanlar üzerinde deney yapılmasına o dönemde de karşı çıkan kişiler Pasteur'e rahat vermiyordu, ama o çalışmalarından doğan yararın hayvanlarla yaptığı deneylerin olumsuz yanlarına baskın çıktığına inanıyordu. Yaptığı buluşların kurtardığı sayısız hayat, Pasteur'ün bu inancını doğruluyor. Ayrıca kendisinin de dediği gibi, çalışmalarının tarıma ve hayvan sağlığı bilimine uygulanması sonucunda birçok hayvan da yarar görmüş bulunuyor.

Pasteur kuduz virüsünü de, daha önceden tavuk kolerası, şarbon ve domuz yılancığı mikroplarının zayıflatılmış hallerini geliştirmesini sağlayan yönteme benzer bir yöntemle zayıflatarak koruyucu bir aşı olarak kullanma olasılığını araştırmaya başladı. Kuduz tavşanlardan alınan omurilik birkaç hafta süreyle steril şişelerin içinde asılıp kurumaya bırakıldığında omurilikteki virüs köpekler için bulaşıcılığını yitiriyor, yani zayıflatılmış hale geliyordu. Bu kurumuş omurilik malzemesinin şırıngalanması köpekleri kuduzdan korumaya yetiyordu: Zayıflatılmış virüs, etkili bir kuduz aşısı işlevi görmekteydi. Kuduz belirtileri, ancak kuduz hayvanın ısırışının üstünden biraz zaman geçtikten sonra kendini gösterdiği için Pasteur bu aşının, köpekleri hastalığın bulaşmasından korumanın yanı sıra, hastalığın çoktan bulaştığı bir köpekte belirtilerin ortaya çıkmasını önlemeye de yarayıp yaramayacağını merak etti. Bir dizi köpeği kuduz mikrobunu kapmalarından birkaç gün sonra, ama belirtiler henüz görünme-

mişken aşıladı ve zayıflatılmış virüsün, hayvanların kuduzun pençesine düşmesini gerçekten de engelleyebildiğini keşfetti.

Köpeklerden insanlara geçme aşaması Pasteur için hiç de kolay olmadı. Çünkü köpekler üstünde çok dikkatle kullanılan aşılama yönteminin insanlara uyup uymayacağı konusunda belirsizlikler vardı. Üstelik Pasteur, kuduz belirtilerinin ne denli korkunç olduğunun gayet iyi farkındaydı ve yanlış bir aşı karışımının, hastalığı önlemek yerine başlatması olasılığından doğal olarak korkuyordu. Ne var ki 1885'te, kuduz bir köpeğin iki gün önce çok kötü şekilde ısırdığı Joseph Meister adında dokuz yaşında bir oğlan çocuğu annesi tarafından Pasteur'ün laboratuvarına getirildi. Çocuğun bedeninde on dört tane ısırık vardı, doktoru çocuğun yaşayacağına ilişkin hiçbir ümit verememişti: Kaçınılmaz olarak kuduzun korkunç belirtilerini gösterecek ve ölecekti. Meister'ın durumu Pasteur'ü derinden etkilemişti, çocuğu laboratuvar tavşanlarından elde ettiği zayıflatılmış kuduz virüsüyle aşılamaya karar verdi. Çocuk hiçbir belirti göstermeden kurtuldu ve çok sonra Paris'teki Pasteur Enstitüsü'nün kapı bekçisi oldu. 1940'ta Hitler'in Nazi yönetimine bağlı Alman askerlerinin gelip de kendisini Pasteur'ün gömülü olduğu mahzeni açmaya zorladıkları bir olayda ölene dek de yaşadı: Meister askerleri "Efendi"sinin gömütüne sokmaktansa kendi canına kıymayı yeğledi.

Meister'ın aşılanışını başka başarılar izledi. Pasteur'ün kuduz aşısının insanlar üzerinde kullanılması her ne kadar epey tartışma yarattıysa da (kimileri Pasteur'e katil damgası bile vurmuştu) birçok yaşamın bunun sayesinde kurtulduğuna şüphe yoktu ve binlerce insan Pasteur'e minnettardı. Kuduz aşısı Pasteur'ün daha önceden geliştirdiği üç aşının bir uzantısıydı ve birçok hastalığın aşısının elde edilebileceğini, aşıların güvenli ve hastalıktan korunmada gayet etkili olduğunu sonunda herkesin açıkça görmesini sağlamıştı.

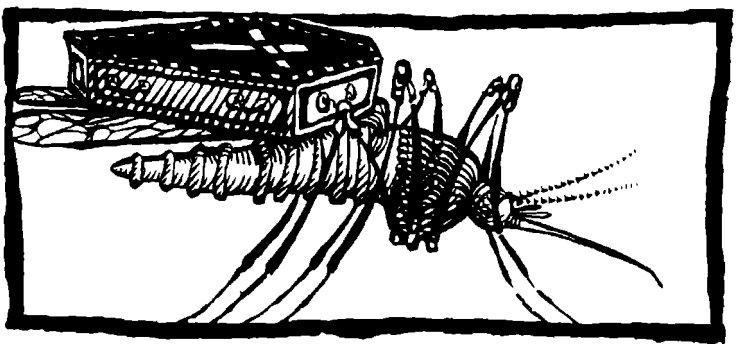
Yirminci yüzyılın insanları birçok hastalığın aşısının geliştirilişine tanık oldular. Bu aşıların üretilme yöntemleri doğrudan

doğruya Pasteur'ün uygulamalarına dayanıyordu. Buradaki ana hedef hastalığı yaratan aracı maddenin ya da bunun bileşenlerinden birinin, verildiği bireylerde koruyucu bir bağışıklık tepkisine yol açacak olan zayıflatılmış bir biçimini üretmektir. Aşıyla bir kere karşı karşıya kalmış kişinin bağışıklık sistemi bu karşılaşmayı "aklında tutar" ve sonradan bu aşıyı andıran, hastalığın kendi mikrobu da dahil her şeyi savuşturur. Jenner ve Pasteur'ün bu alanda yaptığı ilk çalışmalar, bağışıklık sisteminin ve bu sistemin mikropların ve virüslerin üstesinden nasıl geldiğinin anlaşılmasını sağlamıştır. Bağışıklık sistemine ilişkin bilgilerin organ nakline de çok yararı dokunmuştur; çünkü doku reddi, nakledilmiş organın hücrelerinin hastanın bağışıklık sistemi tarafından tahrip edilmesiyle oluşur. Vericinin dokularının alıcınınkiyle eşleştirilmesi ve nakledilen organı "tutmaya" teşvik eden bağışıklık baskılayıcıların kullanıma sokulması gibi başarılara, bağışıklık sisteminin ayrıntısıyla öğrenilmesine bağlı olarak ulaşılmıştır.

Bulaşıcı hastalıkların bakterilerden ve virüslerden kaynaklanabildiği, yirminci yüzyılın ilk dönemlerinde artık biliniyordu. Bir başka asalak mikroorganizma grubu olan tekhücrelilerin de özellikle tropikal ülkelerde hastalıklara yol açtığı kanıtlanmıştı. Hatta bu hastalıklardan bazıları bir insandan diğerine doğrudan iletilen bakteri ve virüs kökenli hastalıkların çoğundan daha karmaşık yapıdaydı. Tekhücrelilerin neden olduğu hastalıklardan birçoğunun, insandan insana sokucu böcekler tarafından bulaştırıldığı ortaya çıkarılmıştı. Bu hastalıklar arasında ilk keşfedilecek olansa sivrisineklerin bulaştırdığı sıtmaydı.

XIII. Bölüm

Sıtmanın Kurnaz Tohumları



Amerikan İç Savaşı sırasında askerlerin yarısından fazlası sıtmaya yakalanmıştı. Aslına bakılırsa sıtma tarih boyunca savaşın kendisi yüzünden ölen askerlerden daha fazla asker öldürmüş, kimi halkları ise neredeyse tamamen yeryüzünden silmiştir. Ancak bugün ABD'de sıtma artık bir tehdit oluşturmuyor, bir zamanlar salgın halinde bulunduğu çok sayıda başka ülkede de artık bu hastalığın üstesinden gelinmiş durumda. Birçok ülkenin, insanlığın başta gelen sağlık sorunlarından birini bu şekilde başından atabilmesi büyük ölçüde sıtmanın sivrisinekler tarafından taşındığını kanıtlayan Britanyalı hekim Sir Ronald Ross (1857-1932) sayesinde gerçekleşmiştir. Ross'un bu büyük başarısı, sıtma taşıyan sivrisineklerin çoğalmasının önüne geçmek için birtakım kamu sağlığı önlemlerinin alınmasına, özellikle de DDT adlı böcek öldü-

rücü maddeyle ilaçlama yapılmaya başlanmasına önayak olmuştur.

Alınan önlemlerin yetersiz kaldığı yüzden fazla gelişmekte olan ülkede sıtmanın hâlâ çok büyük bir sorun teşkil ettiği düşünülürse, Ross'un buluşunun ve sivrisinek kaynaklı sıtma iletimini azaltmaya yönelik çabaların ne kadar önemli olduğu açıkça görülebilir. Dünya Sağlık Örgütü'nün 1992'deki açıklamasına göre dünyada yaklaşık üç yüz milyon sıtmalı insan var ve her yıl bir milyondan fazla insan bu hastalıktan ölüyor. Sıtma Orta ve Güney Amerika'da, Ortadoğu'da ve Asya'da, ayrıca Akdeniz'i çevreleyen ülkelerde bölgeye özgü hastalık durumunda. Yaklaşık iki milyar insan (dünya nüfusunun neredeyse yarısı) sıtma taşıyan sivrisineklerin bol bulunduğu bölgelerde yaşıyor. Afrika'nın bazı bölgelerinde ise beş yaşın altındaki çocukların yılda hemen hemen dörtte biri sıtmadan ölüyor.

Sıtma belirtileri arasında birbirini izleyen yüksek ateş ve üşüme nöbetleri, kansızlık, sarılık, dalak ve karaciğer büyümesi sayılabilir. Hastalık birçok vakada beyne ulaşarak beden denetimi yitimine, bilinç yitimine ve anormal davranışlara yol açar. Bir kez beyne yayılan hastalık çoğu zaman ölümle son bulur.

Tıbbın babası Hippokrates'in (MÖ 460-370) belirtileri tanımlamasından bu yana, sıtma üzerine bilgimiz hayli artmış bulunuyor. Sıtma araştırmalarında şimdiye dek atılmış adımların en önemlisi ise hiç şüphesiz Ronald Ross'un hastalığı sivrisineklerin taşıdığını keşfetmesiydi. Çünkü bu keşif sıtmanın insan topluluklarında nasıl yayıldığını açıklıyor ve hastalığın önlenmesinde izlenecek olası yollar açıyordu. Ross çalışmalarının karşılığında 1902'de Nobel Fizyoloji ya da Tıp Ödülü'nü aldı. Eğer onun buluşuyla elde edilmiş bilgiler gelecekte gerektiği gibi uygulanır ve yeryüzündeki tüm uluslarda sıtmanın kökü kurutulabilirse, Ross'un katkısı dünyadaki en tahripkâr hastalıklardan birinden kurtulma savaşında çok önemli bir dönüm noktası olarak görülecektir.

Ronald Ross ve Sıtmanın Yaşam Döngüsü

Eski Yunanlılar ve Romalılar sıtmaya ve ona özgü aralıklı terleme ve titreme nöbetlerine yabancı değillerdi. Eski Romalı bilgin Markus Terentius Varro (MÖ 116-27) çiftlik evi kurmayı tasarlayanlara bataklık arazilerden uzak durmalarını salık veriyor, çünkü buraların sıtma ateşine kaynaklık edebileceğini düşünüyordu. "Buralarda çoğalan ve gözle görülemeyen bazı çok ufak hayvanlar ağız ve burun yoluyla vücuda girer ve hastalıklara yol açar." diyordu. Varro'nun sıtmaya "çok ufak hayvanların" yol açtığı inancının doğru olduğu iki bin yıl sonra ortaya çıkarıldı. Romalı bilgin Yaşlı Plinius (MS 23-79) ise sıtma için çeşitli çareler bile önermişti. Bunlardan biri insanın yanında "içine ancak sığacağı büyüklükte bir şişeye konmuş yeşil bir kertenkele"den oluşan bir "tılsım" bulundurmasıydı.

Sonunda, sıtmanın bataklık ve sazlıklardan yayılan ve "miyasma" da denen uğursuz bir şeyden kaynaklandığı fikrine ulaşıldı: "Sıtma"nın İngilizce karşılığı olan "*malaria*" sözcüğü İtalyancada "pis hava" anlamına gelir. Söz konusu pis havanın tam olarak nasıl bir şey olduğu belirsizdi, ama atmosfere yükseldiğine ve solunduğunda ya da yiyeceklere bulaşmış olarak yutulduğunda sıtmaya yol açtığına inanılıyordu.

On dokuzuncu yüzyılın sonlarına doğru hastalığın mikrop kuramı -insanlardaki bulaşıcı hastalıklardan birçoğunun mikroskobik canlılardan kaynaklandığı fikri- kabul görmeye başlıyordu (XII. Bölüm). Kimi bilim adamları sıtmanın da gizemli miyasmadan değil böyle bir mikroskobik canlıdan kaynaklanabileceğini düşünmekteydi. Cezayir'deki Fransız ordusunda cerrah olarak görev yapan Fransız hekim Charles Louis Alphonse Laveran (1845-1922) 1880'de çok önemli bir keşifte bulundu. Sıtma hastalarının kanlarını incelemekte olan Laveran, alyuvarların içerisinde mikroskobik bir canlı bulunduğunu fark etti. Sıtmaya sonradan **plazmodyum** [çoğulu **plazmodya**] adı verilen bu canlının yol açtığı düşüncesine vardı. Bu gayet yerinde bir düşünceydi ve sıtmadan bir mikrobun sorumlu olduğu fikrini destekliyordu.

Plazmodyum, **tekhücreliler** denilen ve biyolojik açıdan bakterilerden daha karmaşık yapıda olan bir tek hücreli canlılar grubuna girer. Laveran'ın keşfiyle tarihte ilk defa, insanda hastalığa yol açan bir tekhücreli bulunmuş oluyordu. Gerek sıtma, gerekse tekhücrelilerden kaynaklanan başka hastalıklar üzerine çalışmaları dolayısıyla, Laveran 1907'de Nobel Fizyoloji ya da Tıp Ödülü'nü aldı. Sonradan, insan türüne musallat olan en korkunç hastalıklardan bazılarının, Afrika kökenli uyku hastalığı, kalaazar, amipli dizanteri ve Chagas hastalığı gibi tropik hastalıkların sorumlusu olan başka tekhücreliler de bulundu. Bu hastalıklar gelişmekte olan ülkelerde hâlâ yaygın durumda ve kitaplara geçmeyen insanlık acıları yaratmaya devam ediyor.

Laveran'ın buluşu birçok bilim adamı tarafından kabul görmüştü, ama plazmodyanın insana ne yolla bulaştığını henüz kimse bilmiyordu. Birçokları plazmodyanın musluk suyunda bulunduğuna ve insanın plazmodyalı suyu içerek sıtmaya yakalandığına inanmaktaydı. İngiliz hekim Albert King'in ise (1841-1914) sıtmanın nasıl bulaştığına ilişkin başka bir fikri vardı. King 1883'te yayımladığı bir makalede, kendisinde sıtmanın sivrisinek sokmasıyla bulaştığı düşüncesini doğuran on dokuz neden sıralıyordu. Sıtmanın özellikle sivrisineklerin çok olduğu yerlerde, bataklıklarda, sazlık bölgelerde ve sık ağaçlı ormanlarda sıklıkla görüldüğünün ve ayrıca en kolay geceleyin, yani sivrisineklerin insan kanıyla beslendiği saatlerde bulaştığının bilindiğini söylüyordu.

King'in kuramını iyice inanılır kılan bir şey daha vardı: Bir başka insan hastalığının, asalak bir solucanın yol açtığı **fil hastalığı**nın da sivrisineklerce taşındığı İskoç hekim Patrick Manson (1844-1922) tarafından kanıtlanmış bulunuyordu. Manson ayrıca King'in sivrisineklerin sıtma plazmodyası taşıdığı yolundaki kuramına da inanıyordu; ama onun düşüncesine göre sivrisinekler plazmodyayı sazlık ve bataklıklardan sadece içme suyuna taşıyor, tekhücreliler insan vücuduna sivrisinek sokmasından çok içme suyu aracılığıyla giriyordu. (Ross daha sonra siv-

risineklerin kirletmiş olduğu pis sudan içtiği halde hastalanmayarak bu düşüncenin yanlışlığını kanıtlayacaktı.)

İşte Ronald Ross'un sıtmayı derinliğine incelemeye başlaması da tam bu sıralara rastlar. Ross 1881'de askeri cerrah olarak Hindistan Sağlık Hizmetleri birimine katılmış ve aynı yıl Hindistan'a gitmişti. Sivrisineklerle ilgilenmeye 1883'te Bangalor'dayken başladı, özellikle de kendisini sık sık soktukları için. Değişik sivrisinek türlerini inceleyerek görünüşlerindeki farklılıkları çıkardı. 1894'te izne çıkarak İngiltere'ye gelen Ross burada sıtmaya "pis hava"nın yol açtığı düşüncesine karşı savlarını açıkladığı bir makale kaleme aldı. Bu yazı ona, yılın sıtma üzerine en iyi yazısının sahibine verilen 1895 Parkes Memorial Ödülü'nü kazandırdı. Ross gayet net bilimsel savlarla "pis hava" kuramını yerle bir etmişti.

Ross İngiltere'de bulunduğu süre içinde Patrick Manson'la da görüştü, böylece iki bilim adamı sıtma üzerine konuşup tartışma olanağı buldu. Ross yıllardır sıtmalı hastaların kanlarını incelediği halde, alyuvarlarda Laveran'ın sözünü ettiği plazmodyaya hiç rastlamamıştı. Ama Londra'daki bir hastanedeki sıtmalı bir hastadan aldığı bir miktar kanı mikroskop altında Ross'a gösteren Manson, Laveran'ın haklı olduğuna onu inandırdı. Ross'un artık bu hastalığa yakalanmış kişilerde sıtma plazmodyasının var olduğuna ilişkin hiç şüphesi kalmamıştı.

Manson'la görüşmesi, Ross'u sıtmanın bulaşmasından sivrisineklerin sorumlu olduğuna da ikna etmişti. Ne var ki kimsenin elinde sivrisinek kuramını doğrudan destekleyen bir kanıt yoktu. Ross eğer sıtmayla sivrisinekler arasında bir bağlantı varsa, o zaman sivrisineklerde de plazmodya tespit edilebilmesi gerektiğinin farkına varmıştı. Böylece Hindistan'a götürebileceği taşınabilir bir mikroskop icat etti ve sıtmalı insan kanıyla beslenmiş sivrisineklerde plazmodya bulunduğunu kanıtlamayı kendine görev edindi.

Ross'un başarmayı aklına koyduğu bu görünüşte basit iş, tahmininden çok daha zor çıkmıştı. Başlangıçta üzerinde çalışa-

bileceği sıtma hastası bulmakta güçlük çekti. Damarlarında plazmodya taşıyan hasta bulabildiğinde ise başka güçlüklerle karşılaştı. Örneğin, bir damla kan almak için parmaklarına iğne batırdığı hastaların kimi kaçıyordu, yakaladığı sivrisineklerin daha bir hastanın kanını emmeden öldüğü oluyor, birçoğu ise hastaları sokmaya bile yanaşmıyordu. Zamanla, hastanın yatağı ve cibinliği suyla nemlendirilirse sivrisinekler tarafından sokulma olasılığının da arttığını keşfetti. Bundan da iyi bir yöntem, sivrisineği bir deney tüpünün içine koyup, tüpün açık ucunu doğrudan hastanın tenine dayamaktı. 1896'nın sonuna gelindiğinde Ross, yakalayabildiği kadar çok sayıda değişik sivrisinek türü yetiştirmiş ve kan hücrelerinde plazmodya olan yüzlerce hasta elden geçirmişti. Buna rağmen, üstelik sivrisinekleri hastalar üzerinde beslemeyi de başardığı halde, bunlar arasında bir tane bile plazmodyalı sivrisineğe rastlayamamıştı.

Ordudaki üst rütbeli subaylar Ross'un sıtma çalışmalarının gereksiz olduğunu düşünüyor, zaman zaman ona dikkatini sıtmadan uzaklaştıracak görevler vererek ya da kendisini sıtma çalışmalarını kolaylıkla yürütemeyeceği bölgelere yollayarak araştırmasını engelliyorlardı. Ross'un sıtma incelemelerinin öneminin zerrece farkında değillerdi. 1896'nın sonlarına doğru, Ross sıtma araştırmalarına rahat rahat devam edebilmek için ordudan iki aylığına izin almaya karar verdi. Keyifli bir tatile çıkmak yerine şöyle yaptı: Sıtmalı hastalara ve sivrisineklere ulaşabileceği ve araştırmasını sürdürebileceği bir yere, Hindistan'ın sıtma kaynayan bir bölgesine gitti. Ancak orada bile sivrisineklerde plazmodyaya rastlayamadı, ama kendisi sıtmaya yakalandı.

Onu öldürmesine ramak kalan bir kolera nöbetinin ardından Ross, yine orduya dönerek sivrisineklerde plazmodya aramaya devam etti. Sivrisinek arama işini asistanlarına devretti ve bulunan sivrisinekleri önce hastalar üzerinde besledi. Ardından mikroskop altında teşrih edilen bu sivrisineklerde plazmodya bulunup bulunmadığına bakıldı. Büyük özen gerektiren bu iş için

olağanüstü bir emek sarf edildi: Her bir sivrisineğin her bir mikrometre (binde bir milimetre) karesi tarandı. Sadece bir tane sivrisineğin bile bu işlemden geçmesi saatler alırken, binlercesi aynı şekilde incelendi. Elindeki sonuçlara rağmen Ross hâlâ plazmodyanın sivrisinekler tarafından taşındığından emindi. Ross'tan başka kim olsa, o zamana dek işin peşini çoktan bırakmış olurdu. O ise sıtmanın sivrisineklerce taşındığı kuramının doğruluğuna inanıyordu. "Kesinlikle oradalar ve bulunmaları da lazım! Bütün mesele sıkı çalışmakta." diye yazıyordu Manson'a.

16 Ağustos 1897 günü asistanı Ross'a on iki tane **anofel** sivrisineği getirdi. Ross bu cinsle o güne dek çok az karşılaşmıştı. Hiç böcekbilim eğitimi almadığı ve hangi türe girdiklerini bilmediği için de bunları o aralar "benekli" diye adlandırıyordu. Bu sivrisinekleri sıtma hastaları üzerinde besledi ve ardından, eğer varsa plazmodya bünyelerine iyice yerleşebilsin diye, birkaç gün boyunca kendi hallerine bıraktı. Ne var ki 20 Ağustos'ta elinde sadece üç sivrisinek kalmış, diğerleri ölmüştü. Bu üç taneden biri daha öldü, Ross onu mikroskop altında incelediğinde herhangi bir plazmodyuma rastlamadı. Kalan iki sivrisinekten birini daha teşrih edip inceledi, onda da plazmodyumdan eser yoktu.

Ross artık iyice yorulmuştu, kuramından da şüphe etmeye başlıyordu. Elindeki son sivrisineği de teşrih edip incelemeye değer mi değmez mi, pek emin değildi. Yine de bir denemeye karar verdi: Son sivrisineği de mikroskobun lamına yerleştirdi, teşrih etti ve yarım saat boyunca plazmodya aradı, ama boşuna. Ardından, mikroskobun merceğini sivrisineğin sindirim kanalına odakladı ve sıtma hastalarında onca sık gördüğü plazmodyaya benzeyen renkli hücreler gördü, üstelik bir tane de değil, bir sürü! Çalışkanlığı ve azmi karşılığında büyük bir buluşla ödüllendirilmişti: Sıtma plazmodyasının bir sivrisineğin sindirim kanalında bulunması.

Ross her ne kadar yaptığı keşfin öneminin farkında olsa da, özenli ve taraf sız bir bilim adamı olarak, sivrisineğin sindirim

kanalındaki renkli hücrelerin sadece plazmodyayla benzerlik taşıyan bir başka sivrisinek asalağı değil, gerçekten de sıtma organizması olduğunu şüpheye yer bırakmayacak şekilde kanıtlaması gerektiğini de biliyordu. En önemlisi de, plazmodyalı bir sivrisineğin hastalığı önceden taşımayan bir insanı veya hayvanı soktuğunda bu canlıda sıtmaya neden olabildiğini göstermek olacaktı.

Ronald Ross'un hünerleri yalnızca tıp ve bilimle sınırlı değildi. Kendisi ayrıca şiirler, öyküler, matematikle ilgili makaleler yazıyor ve oda müziği besteliyordu. Sivrisineklerin sindirim kanalında plazmodya bulunduğunu ortaya çıkarmasının hemen ardından buluşunu betimleyen bir şiir yazdı:

Günlerden bu gün, merhameti bol Tanrı
Avcumun içerisine bıraktı
Mucize kabilinden bir şeyi; şükürler olsun
Tanrım. O'nun emrinde,

O'nun sır dolu yaratısının peşinde
Gözümde yaşlar, çalışırken nefes nefese
Ulaştığım ne mi? Senin kurnaz tohumların
Ey milyon katili Ölüm.

Bilirim, bu şey, ki küçücük
Sayısız insan kurtaracak
Ey Ölüm, hani nerede zehirli iğnen?
Nerde kaldı Zaferin, Ey Mezar?

Anofel sivrisineklerinde sıtma plazmodyasına benzeyen şeyin bulunuşu, sıtmanın nasıl bulaştığının anlaşılabilmesine olanak sağlayacak olan anahtardı. Ross, hasta insanlar üzerinde beslenmiş sivrisineklerde bunca zamandır neden plazmodyaya rastlayamadığını artık anlıyordu: Hep yanlış türden sivrisineklerle çalışmıştı. Bundan sonra ise dikkatini anofel sivrisinekleri,

yani plazmodyanın asıl taşıyıcıları üzerinde yoğunlaştırabilirdi. Aradan fazla zaman geçmemişti ki aynı tür sivrisineklerin sindirim kanallarında yine plazmodyaya rastladı. Bu da Ross'ta, insanlarda görülen sıtmayla sivrisinek arasındaki bağı gerçekten de bulmuş olduğu kanısını güçlendirdi.

Ross bu büyük buluşunu artık o kaçınılmaz sona götürmeye, yani plazmodyalı sivrisineklerin bir insanı ısırmasının sıtmaya yol açtığını kanıtlamaya hazırdı. Ama araştırması 1897 Eylül'ünde, üstlerinin engellemesi ve bürokrasi yüzünden sekteye uğradı: Ross fiilen savaşmak üzere cepheye tayin edildi. İtirazlarına rağmen sıtma çalışmalarını bırakmak zorunda kaldı. Askerler sıtmanın korkunç özelliklerini gayet iyi biliyor, ancak askeri yetkililer Ross'un araştırmasının önemini anlamıyordu. Ancak gerek Manson, gerekse başka bilim adamları askeri yetkililere şiddetle tepki gösterdiler ve sonuçta üç ay sonra Ross'un altı ayını Kalküta'da, özel hizmette geçirmesine izin çıktı. Sonunda orada, önemli araştırmasını tamamlayabildi.

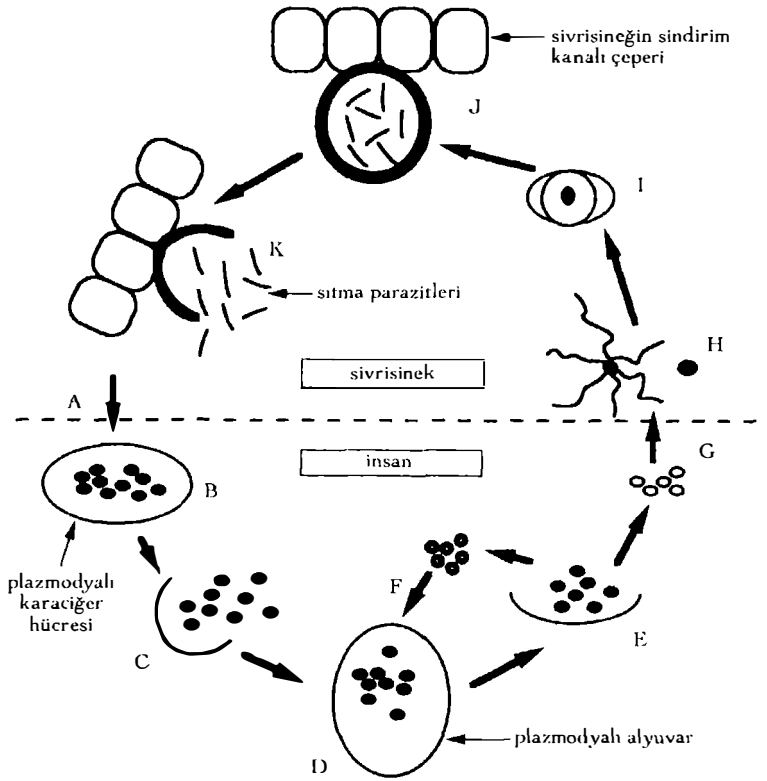
Ross Kalküta'da onca ihtiyaç duyduğu kan örneklerini sağlamaya istekli sıtma hastası bulmakta güçlük çekiyordu, ama bu arada çok önemli bir gözlemde bulundu: Yöredeki kuşların da sıtmayla başı dertteydi (özellikle de serçelerin). Bu gözlem ona sıtmanın nasıl bulaştığını incelemek için kullanabileceği mükemmel bir örnek sistem sağladı. Birkaç ay geçmeden plazmodyanın kuşlardaki yaşam döngüsünü baştan sona izlemeyi başarmıştı. Sıtmalı kuşlar sivrisineklere, plazmodyalı sivrisinekler de kuşlara sıtma bulaştırmaktaydı. Ross plazmodyanın sivrisineğin sindirim kanalından tükürük bezlerine ulaştığını, sonra da sokma esnasında kan emen sineğin tükürüğüyle kuşlara geçtiğini kanıtladı. Aslında kuş sıtmasını taşıyan sivrisinek türü, insanlara sıtma bulaştıran sivrisinek türünden farklıdır ve kuş sıtması insana bulaşmaz. Ama yine de insanlardaki sıtmayla kuşlardaki sıtmanın yaşam döngüleri birbirine çok benzer.

Ross 1898 Nisan'ında Manson'a tekrar yazdığında "Sivrisinek kuramına artık tamamen kanıtlanmış gözüyle bakıyorum."

diyordu. Kısa süre sonra bir grup İtalyan bilim adamı, sivrisineklerin plazmodyayı insanlara da aynı kuşlara olduğu gibi sokma yoluyla bulaştırdığını kanıtlayarak Ross'un bulgularını bir adım öteye taşıdı.

İnsanlardaki sıtma plazmodyumunun yaşam döngüsü (Şekil 21) Ross'tan bu yana bir miktar daha ayrıntılandırılmış olsa da, onun ulaştığı tüm sonuçlar ve bunlar üzerine yaptığı bilimsel yorumlar geçerliliklerini bugün de aynen korumakta. Yaşam döngüsünün bilinmesi, sıtmayı yeryüzünden tamamen silmeyi hedefleyen araştırma ve halk sağlığı programlarına önayak oldu. Günümüzdeki araştırma programlarında ise tüm çabalar olası bir sıtma aşısının geliştirilmesine yöneltilmiş durumda. Böylesi bir aşı, yaşam döngüsünü bir ya da daha çok noktada kırarak plazmodyumun insanlardan sivrisineklere ve onlardan tekrar insanlara taşınmasını engelleyebilir. Elimizde sıtmayı iyileştiren ilaçlar var, ama kimi plazmodyum türlerinin bu ilaçlara karşı direnç geliştirmeleri ve bu ilaçlarca yok edilmelerinin olanaksız hale gelmesi de çok önemli bir sorun.

Ross'un tüm çabalarına rağmen, sıtma ne yazık ki hâlâ başta gelen sorunlardan biri olmaya devam ediyor. Ross plazmodyumun yaşam döngüsüne dair bilgilerden, sıtmanın görülme sıklığını azaltma amacıyla faydalanılabileceğini düşünüyordu. Bunun için sivrisineklerin imhasını ve hastalara kinin denen, sıtmaya karşı etkili ilacın verilmesini hedefleyen birtakım halk sağlığı programları önermişti. Ne var ki Britanya'daki yetkililer, üstelik de Britanya İmparatorluğu'na bağlı ülkelerdeki sıtma vakalarının azalması çok büyük insani ve ticari yarar getirecek olmasına rağmen, bu işi iyice ağırdan almaktaydılar. Amerikalılarsa bu konuda ellerini daha çabuk tuttular. Ross 1904'te ABD halk sağlığı yetkililerince, o günlerde yapımı sürmekte olan Panama Kanalı'nı ziyaret etmeye davet edildi ve onun önerdiği sıtma denetleme önlemlerinin uygulanmasıyla bu bölge hastalıktan tamamen arındırıldı. Panama Kanalı'nın yapımında çalışanlar yine sivrisineklerin taşıdığı bir başka hastalık olan sarı hummadan da kurtuldular.



Şekil 21. Sıtma plazmodyumunun yaşam döngüsü. Şeklin üst yarısında parazitin sivrisinekteki, alt yarısında ise insandaki gelişimi gösteriliyor. Plazmodya, sivrisineğin sokması esnasında insanın kanına karışır (A). Bunlar karaciğere ulaşarak karaciğer hücrelerini istila eder, burada bölünerek çoğalır ve gelişir (B) ve kandaki alyuvarları istila edecek biçimlerini almış olarak dışarıya salınır (C). Plazmodya alyuvarlar içerisinde bölünür (D) ve dışarıya salınır (E). Plazmodya bu aşamada ya tekrar alyuvarları istila eder (F) ya da bir başka sokma esnasında sivrisineğe geçer (G). Sinekte, plazmodya dişi ve erkek plazmodyumun katılımını gerektiren bir cinsel süreçten geçer (H, I) ve sivrisineğin sindirim kanalı çeperini oyarak burada insanlarda hastalık yaratan biçimlerini alır (J). Bunlar sivrisineğin sindirim kanalı çeperinden dışarı püskürerek (K) tükürük bezlerine doğru ilerler. İnsanı emerek beslendiği sırada sivrisineğin tükürüğüyle tekrar insanın vücuduna girer.

Ross Nobel Ödülü'nün ardından bir de şövalye unvanı aldı. Onun araştırmaları, dünyanın birçok bölgesi için sıtmada sonun başlangıcını haber vermekteydi; ne var ki sıtmanın gelişmekte olan ülkelerde görülme sıklığı hâlâ çok yüksek. Sıtmayı yeryüzünden silmeye yönelik fikirlerinin birçok yerde gereğin-

ce ciddiye alınmamasından büyük hayal kırıklığına uğramış olan Ross, eğer hastalığın bugün, buluşundan neredeyse bir yüzyıl sonra hâlâ yaygın durumda olduğunu bilseydi şüphesiz hayretler içinde kalırdı. Sıtmayı ortadan kaldırma yolunda her ne kadar kahramanca çabalar sarf edilmekteyse de, bundan çok daha fazlasının yapılması gerekiyor. Ronald Ross, bize tutulacak yolu gösterdi.

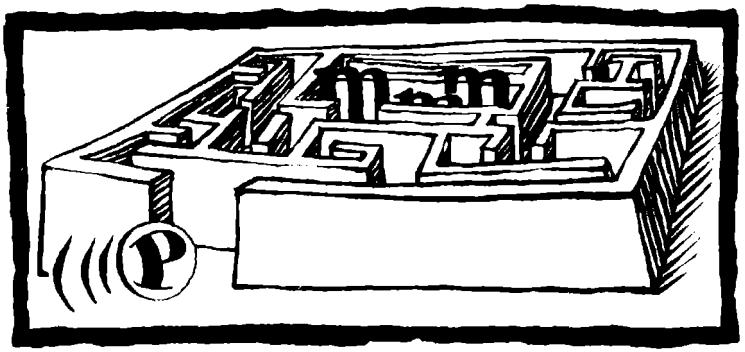
1917'de, yani plazmodyayı anofel sivrisineklerinin sindirim kanalında ilk keşfedişinden yirmi yıl sonra Ross bir şiir daha yazdı:

Tam bu gündü, yirmi yıl önce
O şeyin sırrına eriştik;
İlimle ve maharetle
Ulaştık ona ama
O zehirli iğne geldi ardı sıra:
Sonu gelmez uğraşla kazandığımıza
Tenezzül etmedi kalın kafalı dünya
Bir sözcüklük kıymeti yok bugün
Bir hatıra kadar değeri yok.

Yirmi birinci yüzyıla yaklaşırken bilimsel araştırmaların, halk sağlığı önlemlerinin ve dünya hükümetlerinin Sir Ronald Ross'un çalışmalarını, sıtmayı da aynı suçiçeği gibi tarihe karışmış hastalıklardan biri yapmaya yetecek bir hevesle ele alıp uygulayacağını ummaktan başka çaremiz yok.

XIV. Bölüm

Soyut Kovalamacadan Somut Penisiline



Kimi hastalıklara mikroorganizmaların neden olduğu fikri, yirminci yüzyıl başlarına gelindiğinde artık yaygın olarak kabul görmekteydi. Bu hastalıkların insanlara zarar vermeyen ama mikropları öldürebilen birtakım kimyasal maddelerle tedavi edilme olasılığı, artık birçok bilim adamı tarafından göz önüne alınmaya başlamıştı. Çeşitli hastalıkları önlemede kullanılan aşılarla birlikte, bu kimyasal tedavi maddeleri bulaşıcı hastalıklara karşı açılan savaşta etkili birer araç görevi üstlenecekti.

İnsanlarda görülen bir bakteri enfeksiyonunun tedavisinde düzenli olarak kullanılmaya başlanan ilk ilaç, büyük Alman bilim adamı Paul Ehrlich (1854-1915) tarafından bulunan **Salvarsan**, diğer adıyla Bileşik 606 oldu. Hatta Ehrlich için kemoterapinin kurucusu demek yanlış olmaz. Ehrlich önceleri özel

birtakım boyalarla çalışmaktaydı ve bunların insan hücrelerini değil de bakteri hücrelerini boyayabildiklerini ortaya çıkarmıştı. Eğer bazı boyalar bakterileri boyayıp insan hücrelerini boyamıyorsa, diye düşündü Ehrlich, benzer şekilde bakterileri öldüren ama bunlara ev sahipliği yapan insana zarar vermeyen kimyasal ilaçlar geliştirmek mümkün olamaz mıydı. Vücuttaki işgalci mikropları seçip öldüren bir çeşit kimyasal "sihirli mermi" yapılabileceği kanısındaydı.

Ehrlich 1905'te binlerce kimyasal bileşiğin taranarak, bunların çeşitli hastalıklar üzerindeki etkilerinin incelenmesini kapsayan bir araştırma programı başlattı. Arsenik içeren bir kimyasal olan Salvarsan özellikle frengi üzerinde çok etkiliydi ve çok geçmeden bu hastalığın tedavisinde yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Günümüzde gerek uyku hastalığı, gerekse tekhücreli mikropların yol açtığı başka tropik hastalıkların tedavisinde kullanılan ilaçların birçoğu Ehrlich'in çalışmalarından türetilmiştir. Aslında daha bakteri kaynaklı pek çok hastalığı iyileştirecek ilaçlar yokken, tekhücrelilere bağlı hastalıkların ilaçları vardı. Ama çelişkiye bakın ki tekhücrelilere bağlı hastalıklar, gelişmekte olan ülkelerde yaşayan yüz milyonlarca insanı kırıp geçirdiği halde, günümüzde bu hastalıklar ilaç sanayisi tarafından fena halde ihmal ediliyor.

1930'larda Alman biyokimyacı Gerhard Domagk (1895-1964) yeni üretilen bir dizi boyanın farelerdeki bakteri enfeksiyonlarına karşı olası bir ilaç olup olmadığını sınayarak Ehrlich'in kemoterapi ilkelerini bulaşıcı hastalıklara uygulayana dek, Salvarsan herhangi bir bakteri kökenli hastalığa karşı eldeki tek gerçek "sihirli mermi" olma özelliğini yıllarca korudu. Domagk **Prontosil** adındaki bir boyanın müthiş etkili bir antibakteriyel olduğunu keşfetti. Bu çok önemli bir ilerlemeydi, çünkü Prontosil streptokok sınıfına giren ve çok ciddi bazı insan hastalıklarında, örneğin kızılda rol oynayan bakterilere saldırabilmekteydi.

İşin ilginç yanı, Prontosil'in hayvan bedeni dışında bulunan bakteriler üzerinde hiçbir etkisinin olmaması: Bu ilaç deney tü-

pündeki yalıtılmış bakterileri öldürmüyor. Yani eğer Domagk deneylerini hasta fareler üzerinde yapmamış olsaydı Prontosil'i keşfedemezdi. Bunun nedeni Prontosil'in vücutta başka bir maddeye dönüştürülmesi, bakterilere saldıranın da bu madde olmasıdır. Prontosil ilk **sülfamit** olarak tarihe geçti. Domagk'ın keşfi, birçok benzer ilacın daha yapılmasına önayak oldu. Bunlardan kimileri belli birtakım bakteri enfeksiyonlarına karşı hâlâ başarıyla kullanılıyor. Prontosil'in bulunuşu kimyasal ilaçların gerçekten de çok geniş bir yelpazedeki bakteri enfeksiyonlarına karşı kullanılabileceğini ortaya çıkardı. Bu buluşun, penisilinin bir antibiyotik olarak kullanılmasına da önemli ölçüde katkısı oldu.

Sülfamitlerle harika işler yapılabiliyordu ama öte yandan bu ilaçların sakıncaları da vardı. Bazen istenmeyen yan etkiler ortaya çıkıyordu, üstelik bu ilaçlardan etkilenmeyen daha bir sürü hastalık yapıcı bakteri vardı. Aslında bakteri kaynaklı hastalıkların tedavisinde kullanılabilecek eldeki en önemli kemoterapötik madde 1928'de, yani sülfamitler daha ortada yokken keşfedilmişti, ama dünyanın henüz bundan haberi yoktu. Bu unutulmuş ilaç hastalık iyileştirici bir madde olarak değeri ancak 1940'ta anlaşılan **penisilin**di. Penisilinin keşfinin öyküsü tek kelimeyle olağanüstüdür, ayrıca bilim tarihindeki rastlantısal buluş örnekleri arasında en şaşırtıcı olandır.

Penisilin aslında İskoç bakteriyolog Sir Alexander Fleming (1881-1955) tarafından keşfedilmişti, ama onu gömülü olduğu yerden tam on iki yıl sonra çıkarıp tekrar hayata döndüren ve böylece dünyaya, kullanım alanı hiç görülmemiş derecede geniş ve etkili bir antibakteriyel ilaç hediye edenler Avustralyalı patolog Sir Howard Florey (1898-1968), Alman biyokimyacı Sir Ernst Chain (1906-1979) ve onların Oxford Üniversitesi'ndeki çalışma arkadaşları oldu.

Fleming'in keşfinden önce de çok sayıda bilim adamının penisilinle karşılaşmış olduğuna dair güçlü kanıtlar var. Örneğin, Pasteur'ün mikroplar üzerine yaptığı çalışmaların kulağına gel-

mesi sonucunda antiseptik ameliyat yöntemini geliştiren Joseph Lister, 1871'de elindeki bakteri kültürlerinden birinin yanlışlıkla *Penicillium* küfünün bulaşmasının ardından büyüyemediğini fark etmişti. Bu küfün antiseptik bir madde olarak kullanıma uygun olup olmadığını belirlemek isteyen Lister birtakım deneyler yaptı, ama elde ettiği sonuçlar kesinlikten uzaktı. Öte yandan 1884 tarihli bir hastane kaydı, *Penicillium* küfünü bir hastasındaki çıbanın tedavisinde başarıyla kullandığını gösteriyor. Ama görünüşe bakılırsa Lister söz konusu küfle ilgili daha fazla araştırma yapmamış; dolayısıyla da penisilinin gerçek tarihi Sir Alexander Fleming'le başlıyor.

Fleming ve Penisilin

Alexander Fleming 1881'de İskoçya'da bir çiftçinin oğlu olarak dünyaya geldi. On altı yaşına geldiğinde bir nakliyat şirketinde evrak memuru olarak çalışmaktaydı, ama ağabeyi aklını daha verimli kullanabileceği bir mesleğin ona daha uygun düşeceğine inanıyordu. Bir akrabanın ölümüyle Alexander'a bir miktar para miras kaldı, o da bunu tıp mesleğine geçmek için kullandı. Londra'ya taşındı, parayla özel ders alarak gerekli vasıfları elde etti ve Londra'daki St. Mary Hastanesi'nde tıp eğitimine başladı.

Fleming'in çalıştığı yer hastanenin Aşılama Bölümü'ydü. Bölüm başkanı Sir Almroth Wright'ın (1861-1946) önemsediği araştırma konuları arasında aşılama ve bağışıklık sistemi gibi konular vardı. Fleming burada yıllarca bir yandan araştırmacı bir yandan da pratisyen hekim olarak çalıştı, ancak Birinci Dünya Savaşı'nın ardından sadece araştırmaya yöneldi. İnsanlarla pek rahat iletişim kuramayan, sıkılgan bir adam olarak tanınıyordu, yine de çok saygı duyulan bir kişiydi ve gözünden hiçbir ayrıntının kaçmamasıyla ün salmıştı.

Fleming 1922'de, bakterileri parçalayan bir protein olan **lizozim**i keşfetti. O sıralar nezleydi ve burnundan bir damla sümük, bakteri kültürü yetiştirdiği kaptaki besleyici ortamın yü-

zeyine damladı. Birkaç gün sonra bakterilerin sümüğün hemen çevresindeki bölgede değil, bir miktar uzağında çoğalmakta olduklarını fark etti. Görünüşe bakılırsa, sümükte bakterilere zarar veren bir madde vardı. Fleming bu maddeye lizozim adını koydu ve çeşitli canlı organizmalarda, gözyaşı, tükürük ve sümük de dahil olmak üzere vücut sıvılarında, yumurta akında ve bitkilerde bulunduğuna dair kanıtlar elde etti. Ne var ki zararsız birçok bakteri türünü öldürebilen lizozim, insanlarda hastalık yapan çoğu bakteriyi öldürmüyordu. Lizozim sonradan yaygın olarak üzerinde çalışılan bir protein oldu ve biyokimya araştırmalarında örnek enzim (kendi hiçbir değişikliğe uğramaksızın kimyasal tepkimeleri hızlandıran protein) olarak kullanıldı.

Fleming'in sonradan penisilini buluşu da, lizozimin keşfine çok benzer şekilde gerçekleşti; hatta Fleming'in lizozimle olan deneyiminin, penisilinin keşfini bir dereceye kadar kolaylaştırmış olduğu söylenebilir.

1928'de Fleming St. Mary Hastanesi'nde bakteriyoloji profesörlüğüne yükseldi. Esas araştırma konusu, stafilokoklar diye anılan ve çıbanlara, deri enfeksiyonlarına ve kimi zatürree türlerine yol açan bir bakteri sınıfının incelenmesiydi. Fleming hastanedeki hastaların çıbanlarından aldığı stafilokokları kültür kaplarındaki besiyerlerinde yetiştirmekteydi. Bu bakterileri incelediğinde, çoğaldıkça oluşturdukları çeşitli renklerdeki kolonileri fark etti. Fleming son derece titiz ve çalışkan bir insandı. Laboratuvarı ise çok küçüktü (3 metreye 3,6 metre) ve bu yüzden de tıklım tıkıştı.

Fleming'in penisilini nasıl keşfettiği kesin olarak bilinemiyor, bunun başlıca nedeni de keşfin öneminin zamanında anlaşılamamış olması. Sonraları penisilin en önemli antibakteriyel ilaçlardan biri haline geldiğinde, zamanında Fleming'le birlikte çalışmış bilim adamları olan biteni hatırlamaya çabaladılar. Ama anlatılanlar birbirini tutmuyordu. Dolayısıyla ayrıntıları belki de hiç öğrenemeyeceğiz, ama aşağıdaki öykü büyük olasılıkla gerçeğe en yakın olan öykü.

Fleming 1928 yazında tatile çıkmadan önce üzerinde çalıştığı bakteri kültürü kaplarını, döndüğünde tekrar inceleyebilmek için laboratuvar tezgâhının bir ucuna üst üste yerleştirdi.

1928 Eylül'ünde, yani yaz tatilinin ardından Fleming tatil boyunca uzak kaldığı kültür kaplarını dikkatlice incelemeye karar verdi. Zaten her zaman her kabı titizlikle inceler ve onlardan mümkün olan en fazla bilgiyi derlemeye çalışırdı. Bu sefer de her kaptaki bakteri kolonisinden bir miktar bilgi elde etmişti. Kapları tezgâhın üstünde bırakarak diğer işlerine geri döndü. Bir süre sonra, çalışma arkadaşlarından biri onu görmeye geldi. Arkadaşının dikkatini az önce incelemiş olduğu kaplara çeken Fleming, ona bunlardaki çeşitli bakteri kolonilerini göstermeye başladı.

İşte tam bu sırada Fleming'in gözü, kaplardan birindeki alışılmadık ve ilginç bir oluşuma takıldı. Besiyerinin yüzeyindeki bir sürü stafilokok kolonisine ek olarak, kabın bir kenarında tüylü bir mantarımsı küf kabarcığı yer almaktaydı. Ama bundan da ilginç olanı, küfün hemen çevresindeki bölgede pek az sayıda bakteri kolonisi bulunması, onların da sanki içlerindeki stafilokoklar ölmekteymiş ya da çoktan ölmüş gibi saydam bir görüntüde olmasıydı. Küf'ün çok daha uzağındaki bakterilerse gayet mutlu görünüyorlardı. Tarihi değerdeki bu kap, büyük olasılıkla yok oluşun kıyısından dönmüştü: Kimilerine göre, temizlenmek üzere çamaşır suyuna konmuş bir kap yığınının üst sırasında beklemişti. Yani eğer yığının biraz daha altlarında bir yerde olsaymış sonsuza dek yok olup gidecekmiş!

Bu buluş Fleming'in daha önceki lizozim buluşunu, yani sümük damlasının çevresinde hiç bakteri kolonisi bulunmayan boş alanlar olduğunu fark etmesini andırıyordu. Buradaki küfün de, sümükteki lizoziminkine benzer bir işlevi var gibiydi. Fleming aradaki benzerliği hemen yakaladı, hatta ilk başta bir mantarın ürettiği değişik bir lizozim türü keşfettiğini düşündü. Bu keşif onu epeyce heyecanlandırmış olsa gerek, çünkü kültür kabının fotoğraflarını çektirtti ve kabı bölümündeki bilim

adamlarının birçoğuna gösterdi. Ne var ki onlardan gördüğü karşılık genelde hafif bir ilgiden öteye geçemedi. Fleming kültür kabını da aynen muhafaza etti ve yıllarca sakladı: Bu kap şimdi Londra'daki British Museum'da duruyor.

Fleming araştırılmayı bekleyen ilginç bir olguyla karşı karşıya olduğunu anlamıştı. Mantarsı küfün birazını, içinde besleyici kültür sıvısı bulunan bir şişeye aktarıp orada bol miktarda üretti. İçinde küfü yetiştirdiği sıvının birazını kültür kaplarında denediğinde ise bu sıvının da, aynı önceki kapta küfün çevresindeki bölgede bakteri üremesine engel olması gibi, stafilokok üremesini engelleyebildiğini gördü. Belli ki söz konusu küf, stafilokoklara zararlı bir madde salgılamaktaydı. Fleming başka bakterilerin de içinde küf yetiştirdiği sıvıya karşı duyarlılıklarını ölçtüğünde, bazı bakterilerin hiç etkilenmediğini, bazı bakteri türlerinin büyümesinin ise durduğunu keşfetti. Öte yandan, insanlarda hastalığa yol açan birçok bakteri türüne saldırabilmesi bu küf suyunu lizozimden ayırmaktaydı. Fleming böylece, küfün ürettiği maddenin bir lizozim türü olmadığı kanısına vardı.

Fleming sonraki birkaç ayını heyecan içinde küf suyundaki antibakteriyel maddeyi araştırmakla geçirdi. Bu maddeye "penisilin" adını vermişti, çünkü onu üreten küfün *Penicillium* mantarının bir türü olduğu anlaşılmıştı. Ayrıca, aralarında sekiz değişik *Penicillium* çeşidinin de bulunduğu on üç ayrı küf türünü, penisilin üretme yetileri açısından inceledi; ama bunlardan yalnızca bir tanesi -o da, penisilinin ilk bulunduğu küf türü- penisilin üretiyordu. Bu da Fleming'in keşfinde aslında şansın ne büyük rol oynamış olduğunu gösteriyor: Penisilin üreten bir küfün bakteri kültürü kabına bulaşması pek nadir rastlanan olaylardandır.

Fleming penisilinin özellikleriyle ilgili temel birtakım incelemeler yaptığında, penisilinin hayli etkili olduğu sonucuna vardı: Küf suyu, sekiz yüze bir oranında inceltildiği durumda bile hâlâ bakterilere saldıracak güçteydi. Penisilinin insan akyuvarlarına yaptığı herhangi bir etki yoktu. Tavşanlara ve farelere ay-

nı maddeden yüklü miktarda şırınga eden Fleming, onlarda da hiçbir zararlı etkiyle karşılaşmadı. Yani penisilin hastalık yapan bakteriler için zararlıya, insan akyuvarları ve hayvanlar için zararsıza benziyordu. Fleming'in kanısına göre penisilin, aynı Lister'ın karbolik asiti gibi, ciltte ve yaralarda kullanılmaya çok elverişli bir antiseptik madde olabilirdi; üstelik insan akyuvarlarını öldüren karbolik asitle karşılaştırıldığında daha tehlikesiz gibi görünüyordu.

Fleming'in araştırma ekibindekilerden biri, işi bir miktar *Penicillium* küfü yutmaya kadar vardırdı ve sonuçta başına hiçbir şey gelmedi. Aynı kişi penisilinli küf suyunu burnunun içindeki bir enfeksiyonu temizlemek için kullandı; enfeksiyon geçmedi, ama penisilinin hiçbir zararı da dokunmadı. Fleming'in çalışma arkadaşlarından bir başkası ise gözündeki bir iltihabı küf suyuyla yıkadı ve bu kez göz iyileşti. Fleming ayrıca St. Mary Hastanesi'ndeki birkaç hastanın yaralarında da antiseptik olarak karbolik asit yerine penisilin kullandı: Sonuçlar kimi vakalarda iyiydi ama genelde olağanüstü başarılı oldukları da söylenemezdi. Sonunda Fleming, mikrop öldürmede bir seçenek olarak penisilinden yararlanma düşüncesini bir kenara bıraktı, en azından küf suyundakinden daha saf nitelikte bir penisilin elde edilebilene dek.

Fleming'le beraber çalışanlardan ikisi, daha fazla miktarda ve katışıksız halde penisilin elde edebilmek için penisilini küf suyunun diğer bileşenlerinden ayırmayı denemeye karar verdiler. Ne yazık ki penisilin kararsız bir maddeye benziyordu; bilim adamları arıtma işinde büyük zorluklarla karşılaştılar, sonunda da bu işten vazgeçtiler. Bu girişimin ardından, Fleming'in laboratuvarında penisilinin arıtılmasına yönelik başka pek fazla çaba harcanmadı. 1934'te Fleming'in çalışma arkadaşlarından bir başkası bir girişimde daha bulundu, ama benzer şekilde başarısızlığa uğradı. 1932'de Londra Hijyen ve Tropik Hastalıklar Okulu'ndan bir başka bilim adamı, yine Fleming'den aldığı ve *Penicillium* küfü içeren kültür sıvısından penisilini arıtmaya ça-

lışmıştı. Bu girişim de boşunaydı: Penisilin fazla kararsızdı ve küf suyundan gereksinimi karşılayacak miktarda penisilin elde etmek mümkün değildi.

Fleming kültürlerindeki istenmeyen bakterilerden kurtulmak için penisilin kullanmaya devam etti. Eğer bir bakteri türünün penisiline duyarlılığı yoksa, duyarlı olan başka bakterilerin bu kültüre bulaşması, küf suyu eklenerek engellenebiliyordu. Fleming buluşunun raporlarını da yayımlamıştı, ama diğer bilim adamlarının çoğu bu keşfi çok dikkate değer bulmadı. Kültürlerini istenmeyen bakterilerden arındırmak amacı dışında, pek az başka laboratuvar bu konuyla ilgilendi. Hepsinden tuhafı, Fleming'in hayvanlardaki bakteri kaynaklı hastalıkların penisilin tedavisine cevap verip vermediğini araştırmak için hiçbir deney yapmamış olması. Penisilinin zehirli olmadığını da, hastalık yapan bakterileri öldürdüğünü de biliyordu, ama bu can alıcı önemdeki deneyi yapmadı. Bunun bir nedeni belki de penisilinle yürütülen diğer çalışmaların -özellikle de penisilinin kararsızlığının ve yapılan deneylerde bakterileri yavaş öldürmesinin- penisilinden kemoterapötik bir ilaç olarak yararlanma konusunda Fleming'in şevkini kırmış olmasıdır. Bir başka olasılık da, çalıştığı bölümde hastalıklarla ilaçtan çok aşıyla savaşmanın yeğlenmesi, dolayısıyla da bir ilaç olarak penisiline gösterilen ilginin çok az olması olabilir.

Sebebi ne olursa olsun, penisilinin keşfinden sonra bir mucize ilaç olarak kullanıma girmesine kadar, dünyanın on yılı aşkın bir süre beklemesi gerekti. Fleming rastlantısal olarak can alıcı adımı atmış ve penisilini, yani bu tuhaf laboratuvar antibakteriyelini keşfetmişti. Bu maddenin özellikleri üzerine onun ve başka bilim adamlarının yaptığı çalışmalar, yirminci yüzyılın müthiş antibiyotiği penisilinin "yeniden keşfine" giden yolu açmıştı. Penisilinin gizilgücünün sonunda açığa çıkarılışı ise İkinci Dünya Savaşı'nın başlarında Oxford Üniversitesi'nde, Profesör Howard Florey'nin (1898-1968) başında bulunduğu bir laboratuvarda gerçekleşti.

Oxford ve Penisilindeki Gizilgücün Açığa Çıkarılışı

Oxford'daki Sir William Dunn Patoloji Okulu'nda 1935'te patoloji profesörlüğüne yükselen Florey'nin araştırmalarının merkezinde lizozim yer almaktaydı. Kendisi lizozim üzerinde çalışmaya 1929'da, yani Fleming'in bu maddeyi keşfinden birkaç yıl sonra başlamış, hatta bir lizozim araştırmasında Fleming'le birlikte çalışmıştı. Florey lizozimin biyokimyasal özelliklerini incelemeye devam etmek istiyordu. Araştırmalarında kendisine eşlik edecek uygun bir biyokimya araştırmacısı aramaya koyuldu. Sonunda bu role seçilen kişi, Berlin'den Britanya'ya henüz birkaç yıl önce gelmiş çok parlak bir biyokimyacı olan Ernst Chain oldu. Chain Yahudiydi ve Hitler'in Almanya'da Yahudilere uyguladığı zulümden kaçmıştı.

Chain Oxford'da bir süre lizozimle ilgili araştırmalar yaptı, ama sonradan Florey'le ikisi araştırmalarının sınırını başka antibakteriyel maddeleri de kapsayacak şekilde genişletmeye karar verdiler. 1938 yılında Chain başka mikroorganizmaların -örneğin mantarların- ürettiği antibakteriyel maddelerle ilgili bilimsel makaleleri taradı. Karşısına çıkanlardan biri de Alexander Fleming'in penisilinin keşfi ve özellikleri üzerine 1929'da yayımladığı makaleydi. Bu makale Chain'in hemen ilgisini çekti; hatta ilk başta o da Fleming gibi penisilinin lizozime benzer bir madde olduğunu düşündü.

Florey ve Chain'in incelemek için seçtikleri çok sayıda antibakteriyel madde arasına penisilin de katılmıştı. Rastlantı eseri, Sir William Dunn Patoloji Okulu'ndaki bir başka araştırmacının elinde daha önce Fleming'den aldığı bir miktar *Penicillium* küfü vardı ve o da bu küfü aynı Fleming gibi kültürlerini istenmeyen bakterilerden arındırmak için kullanmaktaydı. Chain bu küften biraz alarak, penisilinin arıtılmasına ve antibakteriyel bir madde olarak oynadığı rolün araştırılmasına yönelik incelemelerine başladı. Projenin başarılı bir başlangıç yapmasına büyük katkıda bulunanlardan biri de Chain'in çalışma arkadaşlarından Norman Heatley (doğ. 1911) oldu.

Hem Florey hem de Chain sonradan, kendilerini penisilin üzerinde çalışmaya iten şeyin sadece penisilini bilimsel bir temelde anlamak olduğunu, onun yararlı bir ilaç olma olasılığıyla aslında pek de ilgilenmemiş olduklarını söylediler. Florey şöyle diyordu: "Bazı insanlar gerek benim, gerekse diğerlerinin insanlığın ıstıraplarıyla ilgilendiğimiz için penisilin üzerinde çalıştığımızı düşünüyorlar; oysa ben, ıstırap içindeki insanlığın aklımızın kenarından bile geçtiğini sanmıyorum, yaptığımız ilginç bir bilimsel egzersizdi, o kadar." Chain de buna katılıyordu: "Beni harekete geçiren tek etken bilimsel meraktı. Penisilinin tıpta somut bir yararı olabileceği, bu madde üzerinde çalışmaya başladığımızda hiç aklımıza gelmemişti." Bununla birlikte Florey, Chain ve arkadaşlarının penisilinin şaşkınlık verici özellikleri hakkındaki bilgileri arttıkça aslında bir mucize ilaç üzerinde çalışmakta oldukları açıklık kazandı ve düşünceleri sonunda kaçınılmaz olarak ıstırap içindeki insanlığa yöneldi.

Chain için penisilin, karşısında kendi yeteneğini sınayabileceği bir merak konusuydu; bir biyokimyacı olarak bu maddeyi arıtmayı denemek istiyordu. Özel ilgi alanı enzim proteinler olan Chain, başlangıçta penisilinin de bir enzim olduğunu düşünmüştü. Ama çok geçmeden penisilinin aslında proteinden çok daha küçük olduğu ortaya çıktı. Kaydedilen ilerlemelerin ışığında, Florey penisilin araştırmalarına hız vermeye karar verdi. Britanya'daki fon kaynaklarının araştırması için yaptığı ödenek başvurularını ya geri çevirmesinden ya da çok küçük miktarlarda para vermesinden artık usanmış olan Florey, bu kez ABD'deki Rockefeller Vakfı'na başvurarak hatırı sayılır büyüklükte bir fon isteminde bulundu ve başarılı da oldu. Florey'le Chain'in penisilin çalışmalarını destekleyen araştırma fonlarının büyük bir kısmı başlangıçta Rockefeller Vakfı'ndan geldi.

1940 yılına gelindiğinde Florey, Chain, Heatley ve çalışma arkadaşları penisilin araştırmalarında büyük aşama kat etmişlerdi. Penisilinin antibakteriyel bir madde olarak gücünü ölçmek için daha gelişmiş bir yöntem bulmuşlar; eğer küf, şekli ya-

talak hastalarda kullanılan eğri boyunlu yatak lazımlıklarına benzeyen sığ kültür kaplarında yetiştirilirse, daha fazla penisilin elde edilebildiğini keşfetmişler ve saflık derecesi daha yüksek penisilin içeren preparatlar hazırlamayı başarmışlardı. Nitekim Chain'in elinde az miktarda, o güne dek elde edilen tüm preparatlardan daha güçlü bir penisilin preparatı vardı: Milyonda bir oranında inceltildiği halde hâlâ bakteriler için öldürücüydü. Chain'in penisilini, o dönemde insanlardaki enfeksiyonların tedavisinde kullanılmakta olan bütün sülfamitlerden bile kat kat daha etkiliydi.

Chain çalışma arkadaşlarından birinin bu penisilin preparatının birazını iki fareye şırınga etmesini sağlayarak, preparatın fareler için zehirli olmadığını gösterdi. Bu sonuç on iki yıl önce Fleming'in elde ettiği sonuçları doğrular nitelikteydi. Florey vücuda girdiğinde penisiline neler olduğunu saptayabilmek için, hayvanlarla daha ayrıntılı birtakım deneyler yapmaya karar verdi. Böylece midede parçalanıp etkisiz hale gelmesi yüzünden penisilinin ağızdan alınmasının işe yaramayacağını, ama eğer şırıngayla doğrudan kana verilirse vücutta bir süre kalabildiğini keşfetti. Öte yandan vücuda giren penisilinin tümü, idrar yoluyla er ya da geç dışarı atılmaktaydı. Günümüzde artık ağız yoluyla da alınabilen yeni ve değişik penisilinler var: Bunlar özgün penisilinin, midede parçalanmayacak şekilde değiştirilmiş biçimleri. Penisilinin hayvanlara şırınga edildikten sonra hemen yok edilmediğinin ve özelliklerini aynen koruyabildiğinin öğrenilmesi önemliydi, çünkü insan vücudunda antibakteriyel özelliklerini korumaya devam edeceğinin göstergesiydi.

Florey 1940 Mayıs'ında Fleming'in on iki yıl önce yapmadığı çok önemli bir deney yaptı. Oxford grubunun araştırmasında kimyasal tedavi yönünün öne çıkmasına en büyük katkıyı bu deney sağlayacaktı. Florey sekiz fareye öldürücü dozda bakteri şırınga etti. Sonra farelerin dördü kendi hallerine bırakılıp, diğer dördüne penisilin iğneleri yapıldı. Florey ve Heatley bu farelerin başından hiç ayrılmadılar, çünkü bu deneyin sonuçları

penisilinin canlı hayvanlarda bakteri enfeksiyonlarını iyileştirip iyileştiremeyeceğine dair önemli bilgiler sağlayacaktı. Gece yaklaşırken, Florey ve Heatley hayvanları yoklamak için yaptıkları laboratuvar ziyaretlerini sıraya bindirmişlerdi. Heatley sabahın ilk saatlerine kadar orada kaldı. Saat sabahın üç buçuğuna geldiğinde penisilin verilmemiş farelerin dördü de bakteri enfeksiyonundan ölmüştü, penisilin verilmiş farelerin ise dördü birden hâlâ hayattaydı. Ertesi gün Florey, Chain ve araştırma grubunun diğer üyeleri laboratuvara geldiklerinde de durum değişmemişti. "Bu bir mucize." dedi Florey.

Deney, birçok fare ve daha yüksek dozlarda bakteriyle defalarca tekrar edildi. Penisilinin etkili olduğu kanıtlanmıştı: Farelerdeki bakteri enfeksiyonlarını iyileştirebildiğine şüphe yoktu. Asıl önemli olansa bir sonraki soruydu: Acaba penisilin insanlarda kullanılabilir miydi. Bir sonraki adımın bu olması gerektiğinin bilincinde olan Florey, çok daha fazla miktarda penisilin gerekeceğinin de farkındaydı. Çünkü yetişkin bir insan, bir fareden üç bin kat daha ağırdır. Sir William Dunn Patoloji Okulu'nda büyük miktarda yarı saf penisilin üretmek zordu. Hasta farelerden elde edilen sonuçlar yayımlandığında, Florey ilaç şirketlerinin konuya büyük ilgi göstereceğini düşünmüştü, ama hayal kırıklığına uğradı. Florey ve ekibi dışında, penisilinin öneminin tam anlamıyla farkını varan çıkmamıştı.

Florey bunun üzerine, kendi laboratuvarlarında büyük miktarda penisilin üretmeye karar verdi. İnsanlar üzerinde denemeye yetecek kadar penisilin elde edebilmek için muazzam miktarda *Penicillium* küfü yetiştirmek gerekiyordu. Bunun için bir fabrikadan, Heatley tarafından eğri boyunlu yatak lazımlığına benzer biçimde tasarlanmış yüzlerce kültür kabı satın alındı. Florey'nin bölümü bir penisilin fabrikasına dönüştürüldü. Kültürlerin hazırlanması ve sonra küfün toplanması gibi sıradan işler için bir sürü genç kız işe alındı, hatta bunlara "penisilin kızları" adı takılmıştı. Birkaç ay içerisinde, insanlar için zehirli olup olmadığını denemeye yetecek miktarda penisilin toplanmış bulunuyordu.

Florey ve ekibi başlangıçta penisilini gönüllüler üzerinde incelediler. Oxford grubunun penilisin verdiği ilk kişinin yüksek ateş ve titremeyle tepki göstermesi önce bir miktar kaygı yarattıysa da, çok geçmeden bu tepkinin penisilin preparatının saflığını bozan bir maddeden kaynaklandığı anlaşıldı. Florey'nin ekibinin üyelerinden, penisilinin molekül yapısının belirlenmesiyle yakından ilgili olan tanınmış kimyacı Edward Abraham (doğ. 1913) bu maddeden kurtulmak için basit bir yöntem geliştirdi. Penisilin içindeki bu maddeden arındırıldıktan sonra, Florey'nin araştırma grubundan gönüllü üyelerin yanı sıra Sir William Dunn Patoloji Okulu'ndan başka bilim adamlarına da şırınga edildi ve insanlara bir zararının dokunmadığı anlaşıldı. Ayrıca tıpkı farelerde ve başka laboratuvar hayvanlarında olduğu gibi, insanlarda da idrarla ve yapısını aynen korur durumda dışarı atılıyor, midede parçalanıyordu. Bu sonuçlar ümit vericiydi, Florey penisilinin aynı farelerdeki gibi insanlardaki bakteri enfeksiyonlarını da iyileştirebileceğinden emindi.

Belli ki artık bir sonraki adım, penisilinin hastanelerdeki bakteri enfeksiyonlu hastalar üzerinde yapacağı etkileri araştırmaktı. Böyle bazı hastalara penisilin iğneleri yapıldı. Üzerinde penisilin denenen ilk hasta, yüzünde ileri derecede bakteri enfeksiyonu bulunan bir polisti. Bir gül ağacının dudağının köşesinde açtığı küçük bir çizik iltihaplanmış ve sonra yüzünün her yerine yayılmıştı. Çok fena halde iltihaplanan bir gözünün alınması gerekmiş, sülfamitler bu enfeksiyonda hiç işe yaramamıştı. Art arda yapılan penisilin iğnelerinin hastaya iyi geldiği görüldü: Enfeksiyonlar hafifledi ve hastanın ateşi düştü. Ama yapılan çok sayıda iğnenin ardından eldeki penisilin artık yetmemeye başlamıştı. Öyle ki Florey'le arkadaşları, penisilini hastanın idrarından yalıtıp kendisine geri şırıngalamak zorunda bile kaldılar. Enfeksiyonun sonradan ciğerlerine de yayılmasıyla hasta öldü. Yine de hastanın bir miktar iyileşme kaydetmiş olduğu kesindi, sorun yeterli penisilinin sağlanamamasından çıkmıştı. Yani hâlâ iyimser olmak için neden vardı.

Kısa bir süre sonra, yeniden bol miktarda yarı saf penisilin hazır olur olmaz, birçok başka hastaya da penisilin iğnesi yapıldı ve bu defa büyük başarı elde edildi. Ameliyat yarası iltihaplanmış on beş yaşında bir oğlan, verilen penisilinin ardından büyük bir iyileşme gösterdi; bir işçinin sırtındaki enfeksiyon tamamen geçti; altı aylık bir bebek de yaşamını tehdit eden bir enfeksiyondan kurtarıldı. Penisilin insanlardaki bakteri enfeksiyonlarını gerçekten de iyileştiriyordu. Florey, Chain ve çalışma arkadaşları salt kuramsal araştırma niyetiyle çıktıkları yoldan, dünyayı değiştirecek bir antibakteriyel maddenin yeniden keşfiyle dönmüşlerdi.

Hastalarda penisilinle daha kapsamlı deneyler yapabilmek için öncekinden de fazla penisiline ihtiyaç vardı. Florey, Sir William Dunn Patoloji Okulu'nun bir penisilin fabrikası olarak üretim kapasitesinin sınırına dayandığının farkındaydı. Bu nedenle endüstriden yardım istedi ve Britanya'daki birkaç şirket biraz penisilin üretti, ama genelde şirketlerin penisiline gösterdikleri ilgi ümit kıracak kadar azdı. Üstelik Florey ve ekibinin penisilinin insanlardaki enfeksiyonları iyileştirebildiğini kanıtlamış olmasına ve İkinci Dünya Savaşı'nda yaralanan askerlerin en büyük sorunlarından birinin bakteri enfeksiyonları olmasına rağmen.

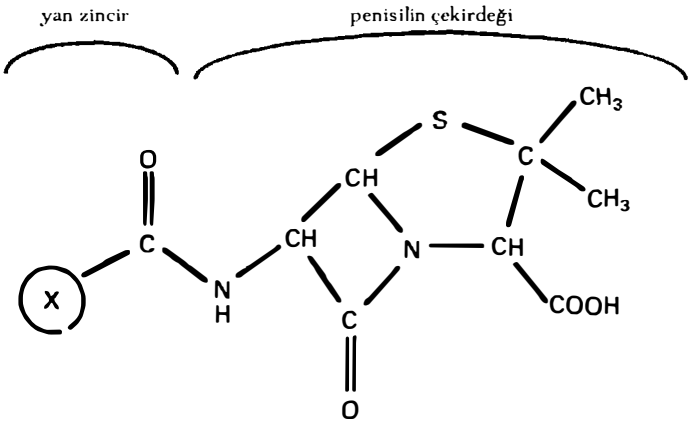
Yine de penisilin "yapıcı" bir savaş silahı olarak göz önüne alındı. Hatta Almanların büyük miktarda penisilin üreterek yaralı askerlerinin tedavisinde kullanacağına ilişkin kaygılar yaşandı. Almanya elbette penisilinle ilgileniyordu. Ama esas sorun, yani *Penicillium* kültürlerinden elde edilen penisilin miktarının nasıl artırılabileceği sorunu daha çözülememişti.

Florey ve Heatley 1941 yılında, penisiline biraz da olsa ticari ilgi uyandırmayı bir de orada denemek üzere ABD'ye gittiler. Aradıkları ilgiyi gerçekten de hazır buldular ve böylece endüstriyel yolla penisilin üretimi hayali ABD'de gerçeğe dönüştü. Tarım Bakanlığı'nın Illionis eyaleti Peoria kentindeki bir laboratuvarında, mısırı su içinde bekleterek elde edilen sıvıda *Penicilli-*

um yetiştirildi ve böylece penisilin üretiminin artırılmasında ileriye dönük önemli bir adım atılmış oldu. Ayrıca Fleming'in keşfettiği türe oranla daha fazla penisilin üretebilen yeni *Penicillium* küfü türleri keşfedildi. Bu küflerden sonradan özel bir önem kazanacak birine, Peoria'daki pazardan alınma bir kavunun üstünde rastlanmıştı. Bu kavunun küfü on yılı aşkın bir süre boyunca, dünyada endüstriyel yolla üretilen penisilinin çoğuna kaynaklık etti.

ABD'de büyük ölçekli penisilin üretimine geçilmesi, Japonların Pearl Harbor saldırısıyla (Aralık 1941) hemen hemen aynı zamana rastlar. Sivillerdeki ve yaralı askerlerdeki bakteri enfeksiyonlarının tedavisinde penisilinle ulaşılan başarı öyle büyüktü ki sonunda penisilin geniş çapta kabul gördü. Zamanla dünyanın her yerinde üretimine başlanan penisilin hâlâ antibiyotiklerin en önemlilerinden biri. İlk başta kullanılan ilacın birçok değişik çeşidi geliştirildi. Penisilin, **penisilin çekirdeği** denen bir bölümden ve bir **yan zincir**den oluşan oldukça küçük bir moleküldür (Şekil 22). Üzerinde çok fazla değişiklik yapılabilen bu yan zincir, çok değişik özelliklere sahip ve farklı bakterilere karşı etkili birçok farklı penisilin üretilebilmesine olanak sağlar.

Penisilin, hayvan hücreleriyle bakteri hücrelerini mükemmel şekilde ayırt etme özelliğine sahiptir. İnsanlar için zehirleyiciliği yok denecek kadar azken, bakteriler için öldürücü olmasının ardında yatan da bu özelliğidir. İnsan hücrelerine dokunmayıp, yalnızca bakterilere saldırmasının nedeniyse şudur: Penisilin, bakterilerin yüzeylerini kaplayan ve onları hasarlara karşı koruyan hücre duvarlarını oluşturmalarını engeller. İnsanların ve başka hayvanların hücrelerinde böyle bir hücre duvarı yoktur -bunlarda hasardan korunmak için yüzeylerini kaplayan başka yapılar vardır- dolayısıyla penisilin onlara etki etmez. Penisilin bakterileri doğrudan öldürmez, hücre duvarı oluşturmalarını engeller ve sonuçta bakteriler hasar gördükleri ve gerektiği gibi çoğalamadıkları için ölürler. Daha önceleri, bakterileri öldü-

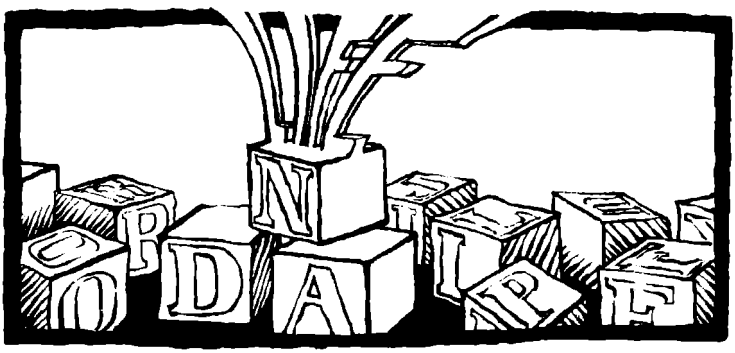


Şekil 22. Penisilinin molekül yapısı. Molekül bir "çekirdek" ve bir yan zincirden (X – C = O) oluşur. X'te değişiklik yapılarak, değişik özelliklere sahip çeşitli penisilinler elde edilebilir.

ren ilaçların insan hücrelerine de zarar vereceği düşünülüyordu, ama penisilin ve başka antibiyotikler bu kanıyı yok etti. Günümüzde bakterilere özgü yapılara saldırabilecek yeni ilaçlar geliştirebilmek için bakterilerle insanlar arasındaki farklılıklara bakmak artık olağan bir uygulama sayılıyor. Bakterilere saldırma görevini hemen hemen kusursuz bir şekilde yerine getiren penisilin şans eseri keşfedilmişti. Bu keşifte rol alan bilim adamlarını -Fleming, Florey, Chain, Heatley ve çalışma arkadaşlarıharekete geçiren, insanların hastalıklarını iyileştirme arzusu değil salt meraktı.

XV. Bölüm

Yaşamın Alfabesi DNA



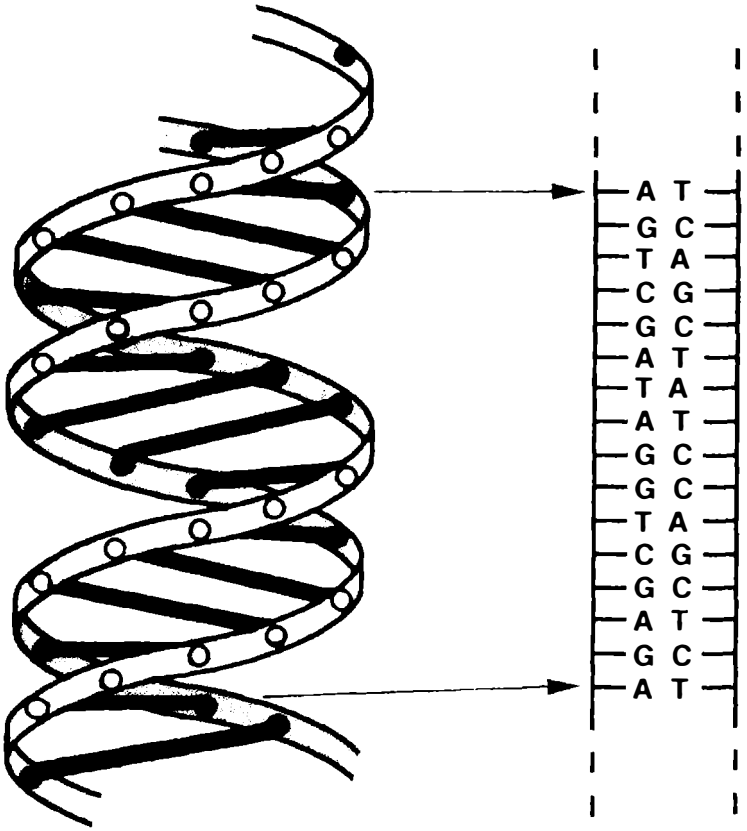
Fleming'in 1928'de penisilini şans eseri keşfi, çıbanlara neden olan bakteriler üzerinde sürdürmekte olduğu araştırmalardan kaynaklanmıştı. Yine aynı dönemde, zatürreeye neden olan bakteriler üzerinde çalışmakta olan bir başka Britanyalı bakteriyolog Fred Griffith (1879-1941) insanlığın yirminci yüzyıldaki en müthiş bilimsel başarılarından biri olan bir keşif yaptı: Kalıtsal malzeme olan **dezoksiribonükleik asit**in ya da kısaca **DNA**'nın moleküler doğasının belirlenmesi. Griffith'in çalışmasının önemi başlangıçta takdir edilmedi, tıpkı penisilinde olduğu gibi Griffith'in buluşunun da gerçek değerinin anlaşılması için on yılı aşkın bir süre geçmesi gerekti. Hem penisilinin, hem de kalıtsal malzemenin dünya sahnesinde belirişi İkinci Dünya Savaşı dönemine rastladı. Ama penisilin o noktada artık önemli bir adım olarak benimsenmişken, kalıtsal malze-

meyle ilgili çalışmanın önemi hâlâ geniş çapta anlaşılmamıştı. Ancak yıllar sonra bu buluş tarihteki gerçek yerini alabildi.

Kalıtsal malzemenin -yani DNA'nın içindeki kimyasal "harf" dizilerinden oluşan ve tüm canlı varlıkların yapı malzemesi olan proteinleri ve diğer molekülleri kodlayan yaşam alfabesinin- moleküler doğasının keşfi, bu keşifte rolü olan bilim adamlarının yola çıkarkenki beklentileri göz önüne alındığında hiç umulmadık bir sonuçtu. (DNA'nın proteinleri nasıl kodladığına ilişkin ek bilgi için, bkz. XVII. Bölüm) Zatürreeye yol açan bakterilerle ilgili araştırmalardan, bizi kalıtsal malzemenin kimyasal bileşimine götürecek anahtarın çıkacağını kim tahmin ederdi ki. İşte hiç umulmadık, ayrıca çok önemli bir keşifle sonuçlanan bir araştırma daha.

Kendilerinin ve diğer organizmaların yapısının görünüşteki karmaşıklığı ve çocukların ana babalarıyla, nineleri ve dedeleriyle, erkek ve kız kardeşleriyle aralarındaki fiziksel benzerlik insanları binlerce yıldır hayrette bırakmıştır. Bu türden gözlemleri açıklamak için sık sık doğaüstü ve dinsel güçlere başvurulmuş olmasına da herhalde şaşırmamak gerek. Şimdiyse kalıtsal yolla belirlenen bu gibi benzerliklerin bilimsel bir açıklaması var; hem de öğrendiğimiz şey kimsenin düşünemeyeceği kadar harikulade. Birbirinin çevresine sarılan iki sarmaldan oluşan ve DNA adıyla anılan bir molekül (Şekil 23) canlı organizmaların fiziksel özelliklerini şifreliyor. Kalıtsal şifrenin anlaşılması en üst düzeyde bir başarı olarak da tanımlanabilir. Tıpkı evrenin kökenlerini açıklayan buluşlar (VII. Bölüm) gibi, DNA'nın kalıtsal malzeme olarak belirlenmesinin yolunu açan atılımlar da insanoğlundaki merak duygusunu yansıtır. "Biz nereden geldik" ve "yaşam nedir" gibi soruların yanıtlarına daha önce hiç olmadığımız kadar yakınız artık.

Kalıtsal malzemeye ilişkin bilgiler, akla hayale sığmaz türden araştırma alanlarının kapısını açtı. DNA artık deney tüplerinde insan eliyle yönlendirilebiliyor ve bu çalışmalar için geliştirilmiş olan **rekombinant DNA teknolojisi** biyolojinin pek çok soru-



Şekil 23. DNA (dezoksiribonükleik asit) birbirinin çevresine sarılan iki sarmaldan oluşur (solda). Sarmalın kıvrımları şeker ve fosfattan, onları birbirine bağlayan "basamaklar" ise bazlardan meydana gelir. DNA'da dört çeşit baz bulunur: adenin (A), guanin (G), sitozin (C) ve timin (T). A hep T ile, G de hep C ile eşleşir (sağda). Bazların dizilişi, hücrelerin kalıtsal şifreyi proteinlere nasıl "geçirdiğini" belirler.

suna cevap getiriyor: Döllenmiş bir yumurtanın gelişerek bir bebeğe dönüşmesini sağlayan mekanizmalar ve insanın düşünme yetisinin ardında yatan moleküler süreçler gibi konulara ilişkin sorular da bunlar arasında. Rekombinant DNA teknolojisinin çok sayıdaki kullanımına örnek olarak şunlar sayılabilir: DNA izi yönteminin geliştirilmesi (XVII. Bölüm), normal hücreleri kanserli hücrelere dönüştüren süreçlerle ilgili araştırmalar, kistik fibrozis ve kas distrofisi gibi kalıtsal hastalıklarla ilgi-

li bilgilerin artması, ayrıca çok çeşitli hastalıkların tedavisi için yeni ilaçlar üretilmesi. Rekombinant DNA teknolojisi bugünkü hayatımızın ayrılmaz bir parçası ve gelecek nesillere de büyük olanaklar sunacak.

DNA'ya ve DNA'nın canlıların fiziksel özelliklerini kodlama mekanizmalarına ilişkin bilgimizin artış hızı göz önüne alındığında, yirminci yüzyılda bile bilim adamlarının DNA'nın kalıtsal malzeme olamayacağını düşündüklerine inanmak zor. Hatta 1950 yılında bile hâlâ DNA'nın pek de önemli bir madde olmadığını ve genlerin büyük olasılıkla proteinlerden meydana geldiğini düşünen azımsanmayacak sayıda saygıdeğer bilim adamı vardı. Onlara göre DNA basit bir kimyasal maddeden başka bir şey değildi, oysa proteinlerin yapısı çok daha karmaşıktı ve sergiledikleri çeşitlilik, bir canlı varlığın çok sayıdaki özelliklerini kodlama yeteneklerini de kolayca açıklıyordu. DNA'nın kalıtsal alfabe olarak kabul edilmesine giden yol 1869'da DNA'nın keşfiyle açıldı.

Genler, DNA ve Kromozomlar

İsviçreli bilim adamı Friedrich Miescher (1844-1895) DNA'yı 1869 yılında, iltihaplanmış ameliyat yaralarındaki irinden elde ettiği insan akyuvarlarını kimyasal bir işlemden geçirmekteyken keşfetti. Bu işlem sonucunda söz konusu akyuvarlar koyulaşıp yapışkanlaşmışlardı. Miescher koyu kıvamlı bu maddenin hücre çekirdeğinin çevresindeki plazmada değil, çekirdeğin içinde bulunduğunu ortaya çıkardı. Sonradan DNA adını alacak olan bu maddeye "nüklein" adını veren Miescher, bu maddenin fosfor içerdiğini ve asit özelliği taşıdığını kanıtladı. Hücrenin kalıtsal malzemesinin çekirdeğin içinde yer aldığı sonradan açıklık kazandığında ise çoğu bilim adamı kalıtsal bilgiyi DNA'nın kendisinin değil de DNA'yla ilişkili proteinlerin taşıdığı kanısına vardı.

On dokuzuncu yüzyılda çoğu biyolog bir bireyin kalıtsal özelliklerinin kendisine ebeveynlerinden kan ve başka sıvılar

aracılığıyla aktarıldığını düşünüyordu. Bugün de kullanılan "asil kan" ve "kan bağı" gibi terimler de buradan geliyor. Ancak Avusturyalı rahip Johann Gregor Mendel (1822-1884) bezelye bitkileri üzerinde mükemmel birtakım deneyler yaptı ve elde ettiği sonuçlar kan kuramının yanlışlığını ortaya çıkardı. Mendel bezelyenin şekli, çiçek rengi ve gövde boyu gibi kalıtımla gelen fiziksel özelliklere dair bilgiyi taşıyan etkenlerin (genlerin) birbiriyle karışmadığını kanıtladı. Örneğin, biri uzun, diğeri kısa boylu iki bezelye bitkisiyle yapılan bir çapraz döllenme orta boylu bitkiler vermez; yavrular ya uzun boylu olur ya da kısa boylu. Aynı şekilde annesinin gözleri mavi, babasınınkiler kahverengi olan bir çocuğun göz rengi bu iki rengin karışımı olmaz. Mendel ayrıca ebeveynlerden her birinin her yavruya kendi genlerinin yarısını aktardığını, dolayısıyla yavruya iki ebeveynden de eşit sayıda gen aktarıldığını kanıtladı. Bununla birlikte, her yavrunun ebeveynlerinden aldığı genlerin kombinasyonu kardeşlerininkinden farklıdır. O dönemde Mendel genlerin neden oluştuğunu ve bir canlıdaki hücrenin neresinde bulunduklarını bilmiyordu. Elinde sadece canlıların görünür özelliklerini inceleyerek yaptığı çalışmalar sonucunda ulaştığı ve genlerin varlığını kanıtlayan ipuçları vardı.

Ne yazık ki Mendel'in bu öncü nitelikteki bulguları 1900 yılında yeni baştan keşfedilip doğrulanana dek pek ilgi görmedi. Ardından, canlı hücrelerin çekirdeklerinin içinde **kromozom** adı verilen birtakım ikili yapılar bulunduğu ortaya çıkarıldı. Bunlar mikroskop altında görülebiliyor ve sayılarını hücre bölünmeden hemen önce ikiye katlıyorlardı. Sayılarının ikiye katlanmasının peşi sıra kromozomlar iki "yavru" hücre arasında eşit olarak paylaşılıyor ve böylece her bir yavru hücre -tam da genlerde olması gerektiği gibi- ebeveyn hücreyle aynı sayıda kromozoma sahip oluyordu. Bunun ardından, genlerin kromozomlarda bulunduğu doğrulandı ve sperma ve yumurta hücrelerindeki kromozom sayısının vücuttaki diğer hücrelerdeki kromozom sayısının yarısı kadar olduğu ortaya çıktı: Döllenme sı-

rasında spermadaki ve yumurtadaki kromozomlar birleşerek döllenmiş yumurtadaki tek bir çekirdeği meydana getiriyorlardı. Kromozomlar DNA'nın yanı sıra protein de içermekteydi ve genel kanıya göre genleri taşıyanlar bu proteinlerdi.

Yirminci yüzyıla girilirken DNA'nın kimyasal bileşimi artık bilinmekteydi. DNA üç temel kimyasal bileşenden oluşur: Dezoksiriboz denilen bir şekerden, bir fosfattan ve baz adı verilen bir kimyasal grubundan. Şeker ve fosfat DNA molekülünün her yerinde aynıyken, baz dört türden herhangi biri olabilir. Yirminci yüzyılın başlangıcında kimse DNA'nın molekül yapısının neye benzediğini bilmiyordu, yalnızca bileşimi biliniyordu. Üstelik bileşenleri gayet basit görünen DNA'nın bir canlı varlığın karmaşık yapısını kodlayabileceğini düşünmek çok zordu.

Molekül yapısı 1950'lerin başlarında Francis Crick (doğ. 1916), James D. Watson (doğ. 1928), Maurice Wilkins (doğ. 1916) ve Rosalind Franklin (1920-1958) tarafından aydınlığa kavuşturulduğunda DNA'nın sahip olduğu görülen ikili sarmal yapı, bir hücre bölündüğünde genlerin yavru hücrelere aktarılma mekanizmasına dair bir açıklama getirdi. Ayrıca görünüşte bu kadar basit bir molekülün nasıl olup da muazzam miktarda bilgi kodlayabildiğinin ipuçlarını verdi. Sarmalı oluşturan iki iplikçik birbirinden ayrılabiliyor ve kopyalamanın kusursuz olması için çözülen iplikçikler birer şablon gibi kullanılarak, yeni ve bütünleyici iplikçikler yapılabiliyordu. Ebeveyn iplikçiklerin ikisinin de kopyalanmasının ardından, iki yavru hücreye her birine bir çift düşecek sekilde aktarılmaya hazır iki yeni sarmal çifti ortaya çıkıyordu. Dört olası bazın uzun bir iplikçik üzerinde böyle binlerce bazdan ya da "harften" oluşan bir dizi halinde düzenlenişi, canlı varlıkların gerektirdiği karmaşıklığı kodlayacak "cümleleri" sağlamaya yeterliydi.

Ancak, genlerin moleküler doğasının belirlenmesinde yirminci yüzyılın ilk kırk yılında son derece yavaş bir ilerleme kaydedildi. Üstelik genlerin belirlenmesine yol açan can alıcı buluşlar da bilinçli olarak kalıtsal malzemeyi arayan bilim adamları tara-

fından yapılmadı. Tersine genlerin kimyasal doğası -hepsi de aslında zatürreeye yol açan bakterilerle ilgilenmekte olan- Britanya'da Fred Grifith'in ve ABD'de bir grup bilim adamının çalışmaları sonucunda belirlendi. Söz konusu bilim adamları aslında yaşamın alfabesini keşfetmiş olduklarını, çalışmalarının ancak epey ileri bir aşamasında fark ettiler.

Pnömokoklar, Griffith ve Dönüşüm

Yirminci yüzyıl başlarında zatürree gelişmiş ülkelerdeki en büyük sağlık problemlerinden biriydi; tıpkı günümüzde kanserin ve kalp hastalıklarının olduğu gibi. Zatürree vakalarının çoğuna pnömokok denilen bakteriler yol açıyordu ve çok sayıda araştırma grubu bu bakterileri laboratuvarda Pasteur'ün, Koch'un ve onların çağdaşlarının öncülüğünü yapmış olduğu bakteriyoloji yöntemlerini kullanarak incelemekle uğraşıyordu.

Pnömokokların birçok türünün olduğu biliniyordu. Bu türler, her türe özgü antikorlarca (XVIII. Bölüm) tanınabilme özellikleriyle ayırt edilebiliyordu. Yani bir tür pnömokoku tanıyan antikorlar, diğer pnömokok türlerinden hiçbirini tanımıyordu. Bir diğer çeşitlilik de, pnömokokların farelerde zatürreeye yol açmayan biçimlere dönüştürülebilmesinde ortaya çıkıyordu. Bu dönüşüm, bakterileri bir kültür kabındaki besiyerinin üzerinde yetiştirerek kolayca gözlemlenebiliyordu. Her bir pnömokok bakterisi besiyerinin yüzeyinde milyonlarca pnömokok içeren, gözle görülebilir koloniler oluşturuyordu. Pnömokokların bulaşıcı türleri büyük, düzgün yüzeyli ve parıldayan koloniler oluşturuyor, zatürreeye neden olmayan bakteriler ise daha küçük bir alana yayılan, yüzeyi girintili çıkıntılı, pürtüklü bir görünüşü olan koloniler oluşturuyordu. Kolonilerin görünüşlerine bakılarak, pnömokokların bulaşıcı biçimlerine düzgün (S türü), bulaşıcı olmayanlarına da pürtüklü (R türü) pnömokoklar adı verildi.

Birçok bilim adamına göre, düzgün (bulaşıcı) türdeki pnömokokların pürtüklü (bulaşıcı olmayan) türlere dönüştürülebil-

diği gerçeği, bu bakterilerin hastalığa nasıl yol açtığının anlaşılması açısından çok önemliydi. Eğer pürtüklü ve düzgün türler arasındaki biyokimyasal fark anlaşılabilirse, bulaşıcı zatürreenin üretiminde rol alan moleküller belirlenebilirdi. Belki de bir ilaçla bu moleküllerin oluşmasının engellenmesi zatürree tedavisinde bir yöntem olabilirdi. Gerçekten de, düzgün yüzeyli pnömokok türlerinin yüzeylerini örten kalın bir **kapsül**leri olduğu, ancak yüzeyleri pürtüklü türlerin bu kapsülden yoksun olduğu keşfedilmişti. Sonradan bu kapsülün şeker birimlerinden oluşan büyük bir molekül olan ve **polisakarit** denilen bir maddeden oluştuğu ortaya çıkarıldı. Bir şeker biriminin bilimsel adı **monosakarit**tir. Polisakaritlerse uzun zincirlerden oluşmuş bir ağ şeklinde bir araya gelmiş böyle yüzlerce veya binlerce şeker birimi içerir. Polisakaritler hücrelerde sık sık yapısal ve koruyucu roller üstlenirler. Bakterilerin hücre duvarlarını kaplayan polisakaritin yanı sıra, bitkilerin hücre duvarlarının bileşeni olan selüloz da bir polisakarit türüdür.

New York'taki Rockefeller Tıp Araştırmaları Enstitüsünde çalışan Amerikalı bilim adamı Oswald Avery (1877-1955) pnömokok araştırmacılarının önde gelenlerinden biriydi. Pnömokokların yüzeyindeki kapsülün polisakarit içerdiğini ortaya çıkaran onun ekibiydi. Avery pnömokoka "şeker kaplı mikrop" diyordu. İlgisi özellikle bu kapsülün kimyası ve zatürree tedavisinde kullanılma olasılığı üzerinde yoğunlaşmıştı.

Londra'da, Britanya Sağlık Bakanlığı'nda çalışmakta olan Fred Griffith pnömokok araştırmalarına Birinci Dünya Savaşı'ndan sonra başladı. Griffith zatürree hastalarının balgamından yalıttığı pnömokokları laboratuvarındaki uygun besin maddelerini içeren kültür şişelerinde ve kaplarında yetiştirdi; ayrıca bunların farelerde zatürree enfeksiyonu yaratıp yaratmadığını da inceledi.

Griffith tek bir zatürree hastasından alınan balgamın, çoğu zaman dört beş farklı pnömokok türü içerdiğini fark etti. Bu gözlemin yalnız iki açıklaması vardı: Ya bu hastalar her defasın-

da farklı bir pnömokok türüyle olmak üzere, dört beş kere enfekte olmuşlardı -ki bu düşük bir olasılıktı- ya da elindeki bakteri örneği çok sayıda farklı tür üretmek üzere kendilerini bir şekilde değiştirebilen pnömokok gruplarından birine dahildi.

Pürtüklü pnömokok kolonileri (R türü) polisakarit kılıftan yoksun olduğuna, düzgün yüzeyli pnömokok kolonileri (S türü) ise kalın bir kapsüle sahip olduğuna göre, bu kılıfın pnömokokların hastalık yapıcılığında önemli bir yeri olabilir gibi görünüyordu. Griffith S türü pnömokokların R türü pnömokoklara dönüşmesini sağlayan mekanizmayı incelemeye karar verdi.

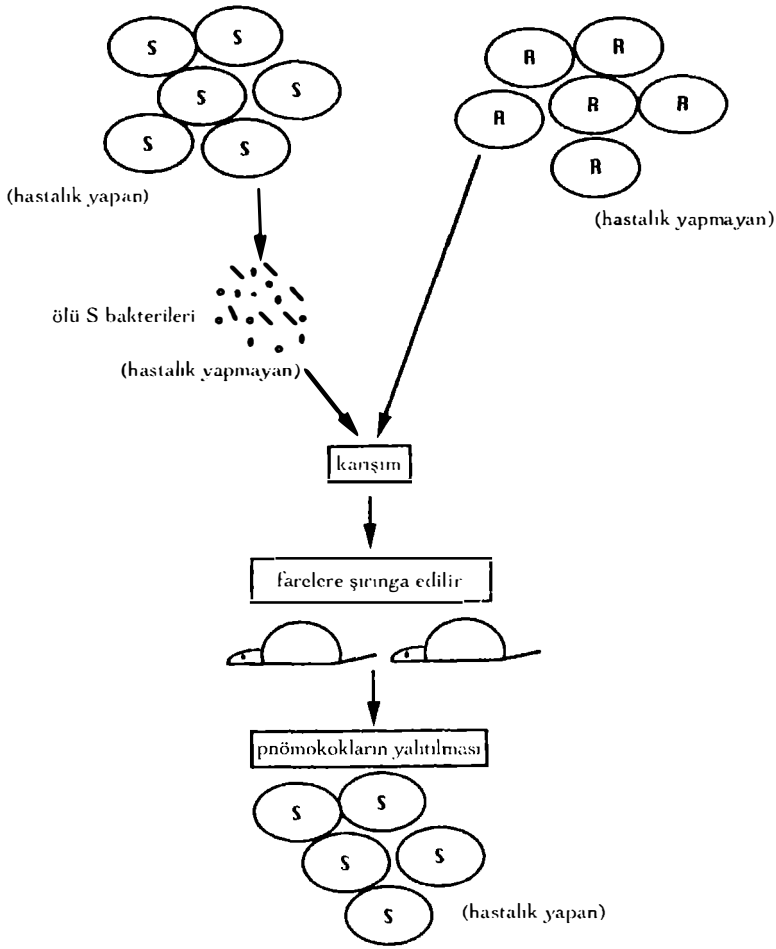
Griffith çok geçmeden, laboratuvarda çeşitli yöntemlerle bulaşıcı S türü pnömokoklardan, bulaşıcı olmayan R türü pnömokoklar elde etmenin mümkün olduğunu gördü. Açıkça görülen bir başka şey de, önceden başka bilim adamları tarafından yapılmış deneylere de uygun biçimde, tüm R türleri polisakarit kapsülünden yoksunken, tüm S türlerinin kapsüllerinin olduğuydu. S türleri farelere şırınga edildikleri her durumda zatürree enfeksiyonları yaratıyor, buna karşılık R türleri ender olarak hastalık yapıyordu.

Ama Griffith bir şey daha buldu: Farelere çok büyük miktarda R türü şırınga ettiği hemen her sefer zatürree enfeksiyonu oluşuyordu. Düşük düzeylerde verilen R türü pnömokoklar fareleri hasta etmiyor, ama aynı düzeydeki S türleri her zaman hastalığa yol açıyordu. Griffith bu olgu için olası bir açıklama bulmuştu. Belki de R türlerinde normalde S türlerinde çok büyük miktarda bulunan ve polisakarit kapsülün oluşmasını mümkün kılan bir maddeden çok az miktarda bulunuyordu. Eğer farelere yeterince çok miktarda R türü şırınga edilirse, o maddeden kapsül oluşumunu başlatmaya yetecek bir miktar bir araya gelebilir ve bu da R türlerinin S türlerine dönüşmesini ve enfeksiyona yol açmasını sağlayabilirdi. Griffith bu düşüncenin doğru olup olmadığını sınamak için basit bir yol bulmuştu. Eğer S pnömokoklarındaki bir şey kapsüllerindeki polisakariti üretmelerini sağlıyor ve eğer bu madde R türlerini S türlerine dö-

nüşmek üzere uyarıyorsa, o zaman ısıtılarak öldürülmüş (ve hastalık yapmayan) S türleri de hâlâ aynı maddeyi içeriyor olabilir ve R türlerinin S türlerine dönüşmesine neden olabilirdi.

Çok sayıda girişimin ardından, Griffith S türü pnömokoklardaki bir maddenin gerçekten de R türlerini S türlerine dönüştürebildiğini kanıtlayan bir deney gerçekleştirdi (Şekil 24). Isıtılarak öldürülmüş S türlere az sayıda R türü eklenmesinden oluşan bir karışımı sekiz fareye şırınga etti. Bu farelerden ikisi zatürreeden öldü ve vücutlarında S pnömokokları bulundu. Kontrol deneylerinde, ne ısıtılarak öldürülmüş S bakterileri ne de R türleri tek başlarına hastalık yapıyordu; demek ki S türleri ısıtarak öldürme işleminden sağ çıkmıyordu. Gerçi R türlerinden S türlerine dönüşüm, sekiz fareden yalnızca iki tanesindeki bakterilerde gerçekleşmişti, ama kontrol deneyleriyle de karşılaştırıldığında bu sonucun önemi ortadaydı. Griffith daha sonraki deneylerinde de bu sonuçları tekrarlamayı başardı. S bakterilerinde bulunan bir şeyin, R türlerinin S türlerine dönüşmesini sağladığı apaçık belliydi.

Griffith'in kılı kırk yararak yaptığı çalışma 1928'de yayımlandığında kuşkuyla karşılandı. Ama çok geçmeden pnömokoklar üzerinde çalışan başkaları da R pnömokoklarının ölü S türleri kullanılarak S türlerine dönüştürülebildiğini doğruladı. Oswald Avery ve çalışma arkadaşları da Griffith'in bulgularını önce aynı şekilde kuşkuyla karşılamalarına rağmen sonradan doğruladılar. Avery dönüşümün fare kullanılmadan da gerçekleştirilebileceği kanısındaydı. Griffith farelere hep ölü S ve canlı R pnömokoklarından oluşan bir karışım şırınga etmişti. Avery, bu ikisini bir deney tüpünde karıştırıp sonra da bir kaptaki besiyerinin üstüne çizgiler halinde sürmenin işe yaraması gerektiğini düşündü: S türüne dönüşen R türleri, besiyerinin üzerinde düzgün yüzeyli koloniler halinde belirecekti. Griffith de bunu denemiş ama başarısız olmuştu. Sonunda Avery ve çalışma arkadaşları 1931'de R'den S'ye dönüşümü deney tüpü içinde gerçekleştirmeyi başardılar. Bu başarı, pnömokoklardaki dönüşü-



Şekil 24. Sonradan kalıtsal malzeme yani DNA olarak belirlenen dönüşüm ilkesi, zatürreeye yol açan bakterileri incelemekte olan Griffith tarafından 1928'de keşfedildi. Canlı haldeki hastalık yapmayan bakteriler (pürtüklü türler yani R türleri), ölü durumdaki hastalık yapan bakterilerle (düzgün türler yani S türleri) karıştırılıp farelere şırınga edildiğinde hastalık ortaya çıkmış ve farelerin vücutlarında hastalık yapan S bakterileri görülmüştü. Belli ki DNA, ölü S bakterilerinden canlı R bakterilerine aktarılıyor ve onların kalıtsal malzemesinin bir parçası haline gelerek R türlerini hastalık yapar hale getiriyordu.

mün işleyişi üzerine yapılacak çok daha iyi denetlenmiş ve ayrıntılı incelemelere zemin hazırladı. S pnömokoklarında bulunan ve R türlerinin S türlerine dönüşmesini sağlayan bilinme-

yen etkene **dönüşüm ilkesi** dendi. Avery bu dönüşüm ilkesinin kimyasal doğasının keşfini, çalışmalarının esas amacı haline getirdi. Bu araştırmaya başladığında, dönüşüm ilkesinin aslında bir canlıyı kendisi yapan maddeleri ve süreçleri kodlayan bir alfabe olarak bütün canlı varlıklarda bulunan kalıtsal malzeme olduğunu bilmiyordu.

Dönüşüm İlkesinin Doğası

Dönüşüm ilkesi esrarengiz bir şeydi. S türü pnömokoklarda bulunan ve R türlerini geçici S türlerine dönüştüren bir madde değildi sadece. Dönüşüm geçirmiş bakterilerin yavrularına ve sonraki nesillere de kalıtım yoluyla süresiz olarak aktarılıyordu. Dönüşüm geçirerek S pnömokoku haline gelen bir R pnömokokunun yavruları ve onlardan sonra gelen nesiller de S türünden oluyordu. Kalıtsallık genlere ait bir özellikti. Yine de çoğu bilim adamı, dönüşüm ilkesinin aslında büyük olasılıkla R türlerindeki, normalda yalnızca S türlerinde etkin durumda olan birtakım genleri ya da başka saklı etkinlikleri harekete geçiren bir madde olduğunu düşünüyordu. Yani kimse dönüşüm ilkesinin genleri oluşturan malzemenin ta kendisi olduğunu düşünmüyordu. Genlerin biyokimyasal doğası o dönem için tümüyle belirsizdi. Dolayısıyla dönüşüm ilkesinin S türü pnömokoklardan R türü pnömokoklara aktarılan ve bunun ardından da dönüşüm geçiren R türü bakterilerin kalıtımla aktarılabilen bir geni haline gelen kalıtım malzemesi olabileceğini kimsenin düşünememiş olması pek de şaşırtıcı sayılmaz. Isıtılarak öldürülmüş S bakterilerinin, R bakterilerine onlara gerçekte doğrudan bir kalıtsal madde aktarmadan etki ediyor olması daha akla yakın görünüyordu.

Avery'nin ekibi ısıtılarak öldürülmüş S türü pnömokokların gerçekten de ölü olduğunu ve dönüşüm ilkesinin ölü S bakterilerinin bir bileşeni olduğunu şüpheye yer bırakmayacak şekilde kanıtladı. Avery bakteri hücrelerinin bütünlüğünü bozan bir yöntemle S pnömokoklarını çıkardı ve elde ettiği özü, içinden

bakterilerin geçemeyeceği bir süzgeçten geçirdi. İçinde dönüşüm ilkesi bulunan önceki preparatlardan daha saf olan bu özde sağlam durumda hiçbir S bakterisi bulunmadığı kesindi, ama yine de R pnömokoklarını S türlerine dönüştürebiliyordu. 1933 yılına gelindiğinde Avery'nin laboratuvarı, R türlerinin deney tüplerinde dönüştürülmesi işleminin verimliliğini artırmıştı. S bakterisi özlerine uygulanan bir işlem sonucunda, öz içindeki istenmeyen maddelerin birçoğundan daha arındırılabilmiş ve böylece dönüşüm ilkesinin saflık derecesi artırılmıştı. Buna rağmen eldeki dönüşüm ilkesi içeren preparatlar tümüyle saf olmaktan hâlâ epeyce uzaktı ve preparattaki diğer maddelerden hangisinin gerçekten dönüşüm ilkesi olduğunun belirlenmesine çok vardı.

1934 yılında Avery'nin ekibine Colin Munro MacLeod (1909-1972) adında bir başka bilim adamı daha katıldı ve dönüşüm ilkesinin belirlenmesi üzerinde çalışmaya başladı. MacLeod pnömokok dönüşümü deneylerini yürütmede büyük bir beceri kazandı ve dönüşüm ilkesi içeren S özleriyle birlikte işleme tabi tutulduğunda dönüşüm sıklığı müthiş bir artış gösteren yeni bir tür R pnömokoku yalıtmayı başararak, ileriye dönük önemli bir adım attı. Sonraki dönüşüm araştırmalarında bu yeni R türü kullanılmaya başlandı ve dönüşüm ilkesinin sonunda belirlenmesini kolaylaştırdı. MacLeod ve Avery dönüşüm üzerine çalışmalarını 1935'te yayımladılar. Dönüşüm ilkesinin hangi madde olduğunu belirleyememişlerdi, ama hâlâ bunun S türü bakterilerden R türü bakterilere aktarılan ve kalıtım yoluyla sonraki kuşaklara da geçen bir etken değil de, R türlerinde zaten saklı halde bulunan etkinlikleri tetikleyen bir şey olduğunu düşünüyorlardı.

MacLeod ve Avery sonraki iki yıl boyunca yavaş adımlarla yol aldılarsa da, dönüşüm ilkesi içeren preparatlarının özellikle proteinleri parçalayan maddelerle birlikte işleme tabi tutulmasının, dönüşüm ilkesini etkisizleştiremediğini buldular. Bu, dönüşüm ilkesinin bir protein olmayabileceğine dair ilk ipucuydu.

Dönüşüm ilkesi üzerine pek çalışma yapılmadan üç yıl geçti. Avery konuya olan ilgisini yitirdiğinden değil; o hâlâ dönüşüm ilkesinin önemli bir araştırma konusu olduğuna inanıyordu. Araştırmaların aksamasının nedenlerinden biri 1937'de antibiyotik sülfamitlerin ortaya çıkışı (XIV. Bölüm) ve MacLeod'un ve Avery'nin laboratuvarlarındaki diğer bilim adamlarının çabalarını bu ilaçların pnömokoklar üzerindeki etkilerini incelemeye yöneltmeleriydi.

1940'ta MacLeod ve Avery dönüşüm ilkesi üzerine incelemelerine geri dönmeye ve onun kimyasal doğasının belirlenmesi için yeniden çaba göstermeye karar verdiler. Dönüşüm ilkesini arıtma çalışmaları için çok fazla -onlarca litre- pnömokok gerekeceği açıktı. Ayrıca işin kendisi de kolay değildi, özellikle de S türleri deney yapanı zatürreeye yakalanma tehlikesiyle karşı karşıya bıraktığı için. Bu tehlikeyi en aza indirmek amacıyla yeni yöntemler ve araçlar geliştirildi ve sonunda Avery'nin laboratuvarında düzenli olarak büyük miktarda pnömokok üretimine geçildi. MacLeod ve Avery dönüşüm ilkesini hiç protein içermeyen bir katı madde halinde elde edebileceklerini keşfettiler. Bu, dönüşüm ilkesinin protein olmadığı fikrine de uygun düşmekteydi. Elde ettikleri madde, o güne dek elde etmiş oldukları dönüşüm ilkesi preparatlarının en saf olanıydı: İçinde fark edilir herhangi bir protein barındırmamakta, buna karşın hem bakteride bulunan **nükleik asit**in çoğunu hem de (pnömokok yüzey kapsülü de dahil) polisakaritlerin çoğunu içermekteydi.

Nükleik asit iki tür kimyasal maddeden oluşur: DNA (dezoksiribonükleik asit) ve RNA (ribonükleik asit). O dönemde DNA'nın hayvanlardaki nükleik asit, RNA'nın ise bitkilerdeki nükleik asit olduğu sanılıyor, pnömokokların da RNA içerdiği ama DNA içermediği düşünülüyordu. Bugünse artık tüm hücrelerin hem genetik malzeme olan DNA'yı, hem de bir hücrenin doğru bir şekilde yapılanmak ve işlemek için kendisine gerekli proteinleri üretmek üzere genleri "okuduğu" süreçlerde rol oy-

nayan RNA'yı içerdiğini biliyoruz. Avery ve MacLeod ellerindeki dönüşüm ilkesi içeren preparatı DNA ve RNA içeriği açısından incelediklerinde, preparatta bunların ikisinin de olduğunu gördüler. Böylece ilk defa pnömokoklarda DNA bulunmuş oluyordu. Yoksa dönüşüm ilkesi, o dönemde biyolojik açıdan fazla bir önem taşımadığı düşünülen DNA'dan veya RNA'dan mı oluşuyordu. Özellikle RNA'yı parçalayan ama DNA'yı bozmayan bir maddenin, söz konusu preparatlardaki dönüşüm ilkesini etkisiz hale getirmediği ortaya çıkarıldı. Eğer dönüşüm ilkesi bir nükleik asit idiyse, bunun RNA'dan çok DNA olması gerekiyordu.

Dönüşüm ilkesinin, dönüşüm ilkesi içeren preparatların ana bileşenlerinden biri olan kapsül polisakaritiyle aynı şey olma olasılığı hâlâ vardı. Ama Avery ve MacLeod başlangıçta öyle olmadığını düşünmüşlerdi. Dönüşüm ilkesinin, yeni dönüşüme uğramış R bakterilerindeki enzimleri yeni kapsül polisakaritleri oluşturmaları için uyaran başka bir madde olduğunu düşünmekteydiler. Bununla birlikte, R türlerindeki enzimleri yeni kapsül polisakariti üretmek üzere uyaran şeyin, S türlerinden elde edilen polisakaritin kendisi olması da hâlâ mümkündü.

MacLeod 1941 yılında bir başka yerde iş bularak Avery'nin laboratuvarından ayrıldı. Tam bu sırada Maclyn McCarty (doğ. 1911) adında yeni bir üyenin laboratuvarına katılması Avery için bir şans oldu. McCarty işe MacLeod'un bıraktığı yerden devam etti; zaman zaman MacLeod da laboratuvara gelerek araştırmaya destek veriyordu. O dönemde Avery'nin ekibi dönüşüm ilkesinin belirlenmesine gitgide yaklaşmaktaydı. Yine de araştırmayı yürüten bilim adamları o aşamada çalışmalarının öneminin büyük olasılıkla tam anlamıyla farkında değildi. İçlerinden herhangi birinin, kalıtsal malzemeyi belirlemiş olabilecekleri olasılığını ciddi olarak ele almasına dek yıllar geçti.

McCarty başlangıçta S pnömokoklarına bulaşıcılık özelliği veren kapsül polisakaritinin aynı zamanda dönüşüm ilkesi de olup olmadığını araştırıyordu. Özellikle polisakaritin niteliğini bozan

maddelerin dönüşüm ilkesini etkisiz hale getiremediğini ortaya çıkararak bu olasılığı saf dışı bıraktı. Buna ek olarak, eğer S bakterileri belli bazı kültür sıvılarında yetiştirilirse, dönüşüm ilkesi içeren preparatlardaki polisakarit miktarı azaltılabiliyordu. Ama bu, sonunda ele geçen dönüşüm ilkesi miktarını azaltmıyordu.

McCarty 1942'de dönüşüm ilkesi içeren kısmen saf preparatların, polisakaritleri parçalayan maddelerle işleme sokulmalarının ardından da R pnömokoklarını S türlerine dönüştürme kapasitelerinin değişmediğini kanıtladı. Proteinlerin, RNA'nın ve polisakaritlerin böylece safdışı bırakılmasının ardından, geriye dönüşüm ilkesi olabilecek tek bir aday kalıyordu: DNA.

Avery ve çalışma arkadaşlarının dönüşüm ilkesinin gerçekten de DNA olup olmadığını ciddi şekilde düşünmeye başlamaları da bu sıralarda olmuş olsa gerek. DNA'nın bir hücrenin genlerini taşıyan kromozomlarla ilişkili olduğu da bilindiği ve dönüşüm ilkesi kalıtım yoluyla aktarılabildiği için, Avery'nin ekip üyelerinde yavaş yavaş genin kimyasal doğasını keşfetmiş oldukları fikrinin belirmekte olduğunu söylemek herhalde yanlış olmaz. En azından Avery'nin böyle düşünmeye başladığı kesin. 1943'te erkek kardeşine yazdığı bir mektupta şöyle diyordu: "Tabii ki henüz kanıtlanmadı, ama eğer haklıysak, bu nükleik asitlerin sadece yapısal açıdan önemli olmakla kalmayıp, aynı zamanda hücrelerin biyokimyasal etkinliklerini ve özelliklerini belirlemede etkin biçimde görev alan maddeler oldukları anlamına geliyor. Ayrıca belli bir kimyasal madde aracılığıyla hücrelerde *öngörülebilir* ve *kalıtsal* değişiklikler yaratmanın mümkün olduğu anlamına da geliyor. Bu, genetikçilerin çok uzun zamandır düşledikleri bir şey." Avery yine aynı mektupta dönüsüm ilkesinden gayet açık bir şekilde "bir virüsü andırsa da bir gen olabilir" diye söz ederek şöyle devam ediyor: "İnsanları DNA'nın biyolojik açıdan böylesine etkin ve ayrıntılı özelliklerle donatılmış olabileceğine inandırabilmek için, sağlam belgelerle desteklenen çok sayıda kanıt gerekiyor." Artık Avery'nin önündeki iş, diğer bilim adamlarını -hatta belki kendisini de- yalnızca ekibinin genleri

oluşturan maddeyi belirlemiş olduğuna değil, aynı zamanda bu maddenin bir protein değil DNA olduğuna da ikna etmekti.

Hemen hemen aynı sıralarda, DNA'nın yalıtılmasına ve arıtılmasına yönelik yöntemler geliştirilmekteydi. Bazı bilim adamları DNA'nın özelliklerinin ve işlevlerinin tanımlanmasıyla ilgileniyorlardı, ama bunlardan hiçbirinin hareket noktası genlerin DNA'dan oluşuyor olma olasılığı değildi. Avery ile McCarty bu yöntemlerin dönüşüm ilkesini hazırlamakta da yararlı olduğunu fark ettiler; bu da söz konusu ilkenin DNA olduğu fikrini desteklemekteydi. İki bilim adamı, dönüşüm ilkesinin protein veya polisakarit gibi iyi bilinen diğer biyokimyasal maddelerden biri değil de DNA olduğuna ilişkin savlarını destekleyecek kanıtlar aramaya koyuldular. Sonunda DNA'dan başka her türlü maddeden arınmışa benzeyen bir dönüşüm ilkesi preparatı elde ettiler. Bu preparatın kimyasal bileşimi DNA'nınkiyle aynıydı, R pnömokoklarını S türlerine dönüştürme yeteneği çok yüksekti ve ne kadar inceledilerse de preparatın içinde önemsiz miktarda bile olsa, dönüşüm ilkesi olabilecek başka herhangi bir saflık bozucu maddeye rastlayamadılar. Ellerinde bir de özellikle DNA'yı parçalayan ama RNA'ya, proteinlere, polisakaritlere ve başka kimyasal maddelere dokunmayan bir madde vardı. Bu madde dönüşüm ilkesini etkisiz hale getirerek onun DNA'dan oluştuğu fikrine daha da güçlü bir destek sağladı. Bu çalışma 1944 yılında yayımlandı.

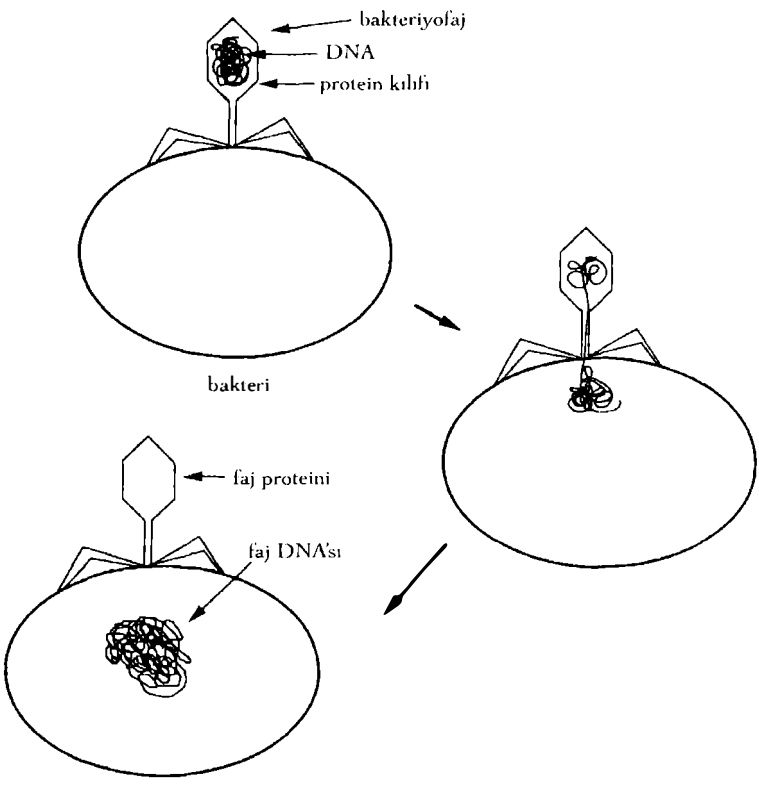
R türü pnömokokların S türlerine dönüşümü şöyle gerçekleşir: R türleri, bakterinin şeker kılıfının üretilmesi için gerekli bir veya daha fazla sayıda genden yoksundur. Bu genin şifresini taşıyan bölüme sahip olan DNA, S türlerinden çıkarılıp R türlerine eklendiğinde, R türleri bu geni alıp kendi kalıtsal malzemelerine dahil ederler: Yani o gen, R türlerinin bir parçası haline gelir. Böylece R türleri şeker kılıfı yapabilir hale gelirler, bu da onları bulaşıcı S türlerine dönüştürür.

O dönemde birçok bilim adamı Avery, MacLeod ve McCarty'nin yayınının önemini anlayamadı. Kalıtsal şifrenin biyokimyasal doğası ortadaydı, ama onu gören azdı. Yine de bu

çalışmanın önemini kavrayan bir azınlık, DNA'nın kalıtsal malzeme olduğu fikrini geliştirmek için büyük bir çaba gösterdi. Kimi bilim adamları kendi çalışmalarının yönünü değiştirerek DNA üzerinde çalışmaya başladılar, çünkü DNA'nın büyük olasılıkla kalıtsal malzeme olduğunu düşünüyorlardı. Sperma ve yumurta hücrelerinin, vücuttaki diğer hücrelerde bulunan DNA miktarının yarısı kadar DNA içerdiği ortaya çıkarıldı; bu da bir yavrudaki genlerin yarısının anadan, diğer yarısının babadan geldiği düşüncesiyle uyuşmaktaydı. Çeşitli canlılardan alınma DNA'lar üzerinde yapılan eksiksiz kimyasal incelemeler, DNA'nın kimyası ve canlıdan canlıya gösterdiği değişikliğe ilişkin daha çok bilgi sağladı. DNA'nın önceden sanıldığı gibi basit olmadığı anlaşıldı ve canlı organizmaların karmaşık bileşenlerini, en azından kuramsal olarak kodlayabileceği fikrini destekleyecek bilimsel savlar geliştirildi.

Sonunda başka bilim adamları da Avery, MacLeod ve McCarty'nin çalışmasını doğrulayan ve DNA'nın gerçekten de kalıtsal malzeme olduğu kuramını güçlendiren kanıtlar elde ettiler. Bu kuramın lehinde özellikle güçlü kanıtlar ortaya koyan bir deney gerçekleştirildi: Alfred Hershey (doğ. 1908) ve Martha Chase 1952 yılında bakteri virüslerinin kalıtsal malzemesinin DNA olduğunu kanıtladılar. Özellikle bakterilere hastalık bulaştıran bakteri virüsleri yani **bakteriyofaj**lar, protein ve DNA içerirler. Bakteriyofajın bir kısmının bulaştığı bakterinin içine girdiği, bir diğer kısmının (bakteriyofaj kılıfının) bakterilerin dışında kaldığı biliniyordu. Bakteriyofajın kalıtsal malzemesi, bakteri hücresinin denetimini ele geçirerek onu daha çok bakteriyofaj üretmeye yöneltir; bakteriyofaj bakteri içerisinde bu yolla çoğalır. Bakterinin içine giren bakteriyofajın kalıtsal malzemesidir, virüsün kılıfı sadece bakteriyofajı bakteriye bağlama işlevi görür. DNA ve protein arasındaki belirgin kimyasal farklılık, bunların ayrı ayrı etiketlenebilmesine ve bu sayede birbirlerinden ayırt edilebilmelerine olanak sağlar. Hershey ve Chase bakteriyofajı içine özellikle ya sadece DNA'ya da sadece pro-

teine tutunan radyoaktif atomlar karıştırarak etiketlediler. Bu işlem bakteriye bulaşmaları sırasında ve sonrasında, bakteriyofajda bulunan DNA'yı ve proteini ayrı ayrı izleyebilmelerini sağladı. Hershey ve Chase böylece DNA'nın bakteri hücresinin içine girdiğini, proteinin ise dışarda, bakteriyofaj kılıfında kaldığını buldular (Şekil 25). Bu, bakterinin içinde yeni virüslerin üretilmesini sağlamak için gerekli bilginin protein tarafından değil DNA tarafından kodlandığı anlamına gelmekteydi. Bir başka deyişle, bakteriyofajın kalıtsal malzemesi DNA'ydı.



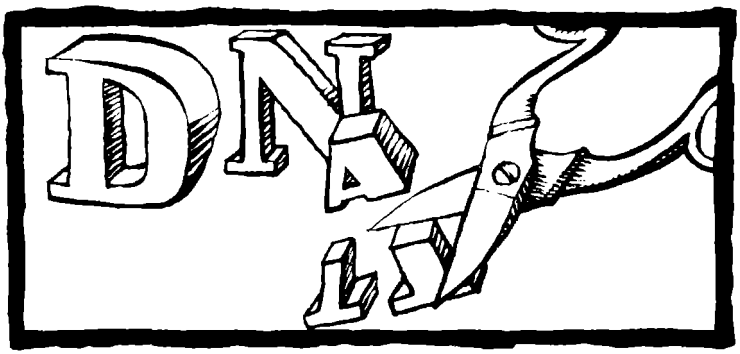
Şekil 25. Hershey ve Chase DNA'nın kalıtsal malzeme olduğu fikrini 1950'lerin başlarında doğruladılar. Bir bakteriyofaj popülasyonunun DNA'sını, bir diğer popülasyonun da proteinini "etiketleyerek" bakterilere bulaşmalarını sağladılar. Sadece etiketlenmiş DNA bakterinin içine girdi, etiketlenmiş protein bakterinin dışında kaldı. Bu, bakteriye girip faj proteinlerinin ve DNA'nın kopyalarının üretilmesini sağlayan kısmın bakteriyofajın DNA'sı olduğunu kanıtladı. Bir başka deyişle, faj üretimi için gereken bütün bilgi -yani fajın kalıtsal malzemesi- içeriye giren DNA'da mevcuttur.

1953'te yani Hershey ve Chase'in deneylerini duyurmalarından bir yıl sonra, Crick ve Watson DNA'nın meşhur ikili sarmal yapısını keşfedip bunu bir makaleyle duyurdular. Bütün parçalar birbirine uyuyordu. Yaşamın kalıtsal alfabesinin DNA olduğu açıktı. DNA'nın molekül yapısı, kimyasal yapısının o kadar basit olmasına rağmen bir canlı organizmayı tanımlamak için gereken milyonlarca bilgi parçasını nasıl olup da içinde taşıyabildiğine ışık tuttu. DNA'nın kalıtsal malzeme olduğunun belirlenmesi ve molekül yapısının aydınlığa kavuşturulmasıyla biyolojide yeni bir çağa girilmiş oldu. Günümüzde DNA artık deney tüplerinde isteğe bağlı olarak yönlendirilebiliyor; bir DNA iplikçiği boyunca dizilen "harflerin" düzenini tespit eden kimyasal yöntemler aracılığıyla DNA'nın alfabesi okunabiliyor ve DNA canlı hücrelerin içine yapay yolla yerleştirilerek kodladığı proteinler bulunabiliyor. Yaşamın doğasına ilişkin bazı temel sorulara getirmeyi vaat ettiği çözümler ve tıp alanındaki muazzam uygulama potansiyeliyle rekombinant DNA teknolojisi artık iyice benimsendi.

Avery, MacLeod ve McCarty'nin 1944 tarihli yayını yirminci yüzyıl biyolojisinin en önemli eserlerinden biri sayılıyor. DNA'nın genleri oluşturan madde olduğuna ilişkin ilk kanıt bu yayında sunulmuştu. Ne var ki adı geçen bilim adamlarının hiçbiri Nobel Ödülü kazanmadı. Bunun başlıca nedeni, yaptıkları keşfin ne kadar büyük önem taşıdığını kimsenin anlayamaması olsa gerek, çünkü kalıtsal malzemenin DNA olduğu fikrine karşı çok fazla muhalefet vardı. Ama zaman, Avery ve çalışma arkadaşlarının biyoloji tarihindeki en önemli keşiflerden birini yaptığını gösterdi. Bir bakıma, çalışmalarının yayımlandığı dönemde nasıl karşılanmış olduğunun pek de önemi yok: Avery, MacLeod ve McCarty şimdi yaşam alfabesinin kimyasal doğasının kâşifleri sayılıyorlar. Onların çalışmaları, insanların tarih boyunca sordukları en önemli bilimsel sorulardan birinin, yaşam nedir sorusunun yanıtına giden yolda bir adım olan rastlantısal buluşların bir başka açık örneğini oluşturuyor.

XVI. Bölüm

Moleküler Makasla DNA Kesmek



Dönüşüm ilkesinin DNA olduğu nihayet anlaşıldığında (XV. Bölüm) hem genetik malzemenin kimyasal yapısı anlaşılmış hem de DNA'nın çevresindeki bakteri hücreleri tarafından alınıp onların genetik malzemesinin parçası haline gelebileceği ortaya çıkmış oldu. Dönüşüm ilkesi gerçekten de pnömokok bakterilerinin şeker kılıfının oluşturullabilmesi için gereken genetik bilgiyi şifreleyen DNA'ydı. Bu DNA hastalık yapan (S türü) pnömokoklardan çıkarıldığında, hastalık yapmayan (R türü) canlı pnömokoklar tarafından emilebiliyor, sonra hastalık yapan S türü pnömokoklara dönüşecek olan R türlerinin genetik malzemesinin bir parçası haline gelebiliyordu.

Yabancı bir DNA da, eğer bakteri virüslerinin içindeyse bakteri hücrelerine girebilir. Virüsler insanların ve diğer hayvanla-

rın hücrelerini istila ettikleri gibi, bakteri hücrelerini de istila edebilirler; böyle virüslere **bakteriyofaj** denir. Bakteriyofajlar İngiliz bilim adamı Frederick Twort (1877-1950) tarafından 1915'te, Fransız asıllı Kanadalı bakteriyolog Felix d'Herelle (1873-1949) tarafından da 1917'de bulunmuştur. Bu bilim adamları kendilerinin ürettiği bazı bakteri kültürlerinin enfeksiyon taşıyan bilinmeyen bir etken tarafından bozulmuş olduğunu fark ettiler. Enfeksiyon taşıyan bu etken, bakterileri süzen filtrelerden geçtiğine göre bilinen bakterilerden daha küçüktü; bu açıdan hayvan ve bitki hastalıklarına neden olduğu kanıtlanmış virüslere benziyordu. D'Herelle "bakteri yiyen" anlamına gelen "bakteriyofaj" ismini türetti.

Daha sonra, bakteriyofajların (kısaca **faj**) aslında bakterilere hastalık bulaştıran virüsler olduğu anlaşıldı. Bir protein kabı olan "baş" kısımlarının içinde taşınan ve şifresi kendi DNA'ları tarafından kodlanan kendilerine ait genleri olduğu gösterildi. Faj bakteriye yine proteinden oluşan "kuyruğuyla" tutunur ve DNA'sını bakterinin içine şırınga eder. Proteinden oluşan baş bakterinin dışında kalırken, fajın çoğalması ve yeni faj nesilleri üretmesi için gereken bilgiyi taşıyan DNA bakterinin içine girerek yeni fajların üretimini yönetir (XV. Bölüm, Şekil 25). Faj DNA'sını oluşturan genler, bakterinin hücre düzeneğini daha fazla faj üretmesi için "kandıran" proteinleri kodlar. Yani faj, çoğalabilmek için bakterinin yönetimini ele alır. Faj DNA'sı fajın baş ve kuyruk kısımlarını oluşturan yapısal proteinlerin şifresini de kodlar; bakteri hücresinin içinde yapısal proteinleri üretmek için bu genler "okunur".

Faj sadece bakterilere bulaşır, diğer organizmaların hücrelerine zararı yoktur. Bir dönem fajın antibakteriyal bir etken olabileceği düşünülmüştü, ama sonra öyle olmadığı anlaşıldı. Bununla birlikte faj bakteriyel biyokimya ve genetik araştırmalarında çok faydalı oldu; ayrıca genel olarak genetik bilimine çok büyük katkısı olan faj genetiği alanının açılmasını sağladı. Yakın zaman içinde faj rekombinant DNA araştırmalarında da (insanların, di-

ğer hayvanların ve bitkilerin genlerinin yalıtılması ve değiştirilmesi) etkili bir araç haline geldi. Rekombinant DNA teknolojisi biyolojide ve tıpta devrim yaratmıştır. Herhangi bir organizmanın neredeyse her geni yalıtılabilir ve o genin kimyasal "harf"lerinin sıralanışı belirlenerek organizmanın DNA "ansiklopedisi" hakkında ayrıntılı bilgi edinilebilir. Bu da daha önce hiç görülmemiş tanı kolaylaştırıcı ayıraçların, yeni ilaç ve aşıların bulunmasını sağlayabilir. Bakteriyofaj bu devrimde önemli bir rol oynamıştır. Bilim adamları faj DNA'sına insanların veya diğer organizmaların protein şifrelerini kodlayan genleri yerleştirerek fajların yabancı genleri kendi genleriymiş gibi kabul etmelerini sağlayabiliyor. Ortaya çıkan rekombinant faj bakterileri istila ettiğinde içindeki yabancı DNA'yla birlikte çoğalır. Diğer organizmaların genlerini kodlayan DNA'ları yalıtmak ve üretmek için fajdan bu şekilde yararlanılabilir. Faj bakteri hücrelerini istila ettiğinde, (yabancı DNA tarafından şifrelenen) özel proteinler elde etmek için yabancı genler seçilebilir. Bu durumda, rekombinant faj bir protein üretim kaynağı olabilir. Bu yöntemle bakterilerin içinde aşılar, tanı kolaylaştırıcı proteinler, tıbbi açıdan yararlı başka proteinler (örneğin hormonlar) üretilebilir.

Bakteriyofajlar genlerin ve onların protein ürünlerinin araştırılmasında kullanılan araçlardır. Temel biyolojik özelliklerinin araştırılması, genleri yönlendirme konusunda bize çok önemli katkılar sağlayan bir başka madde grubu olan **sınırlayıcı enzimler**in bulunmasına yol açmıştır. Çoğunlukla proteinlerden oluşan enzimler kimyasal tepkimelerin hızını artırırlar, ama kendileri bu süreçte değişime uğramazlar; onlar canlı organizmaların katalizörleridir. Sınırlayıcı enzimler, DNA moleküllerini belirli yerlerden keserek parçalara ayıran proteinlerdir. Bu şekilde, istenen genler diğer genlerden ayırılarak yalıtılabilir. Sınırlayıcı enzimler DNA parçalarının haritasının çıkarılmasına olanak sağlar: Sınırlayıcı enzimin kestiği DNA parçaları birbirlerinden ayrılabilir ve birbirlerine göre konumları belirlenebilir. Sınırlayıcı enzimler olmadan rekombinant DNA teknolojisi de olamazdı. Sı-

nırlayıcı enzimler, canlı organizmaların DNA ansiklopedilerinden DNA parçalarının kesilip çıkarılmasına olanak sağlayan moleküler makaslardır. Bu sayede, iki ya da daha fazla DNA parçası kesilip bir araya getirilebilir. Bu enzimler moleküler biyoloji çalışmalarında kullanılan sıradan bir alet haline gelmiştir ve nasıl testere marangozluğun ayrılmaz bir parçasıysa, onlar da rekombinant DNA araştırmalarının ayrılmaz bir parçasıdır.

Doğal olarak oluşan sınırlayıcı enzimler biyokimyacıların yalıtıp bir araç olarak faydalandığı doğadaki birkaç enzim kümesinden biridir. İnsanlar tarafından icat edilen hiçbir makine ya da kimyasal tepkime, DNA'yı sınırlayıcı enzimler gibi hassas bir şekilde parçalara bölemez. Fakat sınırlayıcı enzimler bulunduğunda çok az sayıda bilim adamı bunların ileride ne kadar önemli olacağının farkına varmıştır. Aslında pek çok kişi, bu enzimler üzerine yapılan araştırmaların fazlasıyla dar bir alanı kapsadığını ve uygulama değerlerinin olmadığını düşünmüştü. Ama başka buluşlarda da olduğu gibi, sınırlayıcı enzimler kuramsal araştırmalardan büyük uygulama değeri olan hiç umulmadık sonuçlar çıkabileceğini ve çıktığını kanıtlamıştır. Sınırlayıcı enzimlerin tanımlanması, özelliklerinin belirlenmesi ve kullanılması çalışmalarına birçok bilim adamı katılmıştır. Bunlardan üçü -Werner Arber (doğ. 1929), Daniel Nathans (doğ. 1928) ve Hamilton O. Smith (doğ. 1931)- katkılarından ötürü 1978 Nobel Fizyoloji ya da Tıp Ödülü'nü almıştır.

Sınırlayıcı Enzimlerin Keşfi

Sınırlayıcı enzimler fajların bulaştığı bakterilerle ilgili ilginç bazı deneysel bulgular sayesinde keşfedilmiştir. 1950'lerin başında bilim adamları bazı bakteri tiplerinin belirli faj enfeksiyonlarına, aynı türden başka bakteri tipleri kadar yatkın olmadığını fark etti. Bir başka deyişle, belli bir bakteri tipine eklendiğinde bakterinin içinde verimli bir şekilde çoğalıp milyonlarca faj üretebilen bir faj, farklı bir bakteri tipine eklendiğinde çoğalmıyordu. Her iki durumda da faj aynı olduğu için, bu olgu-

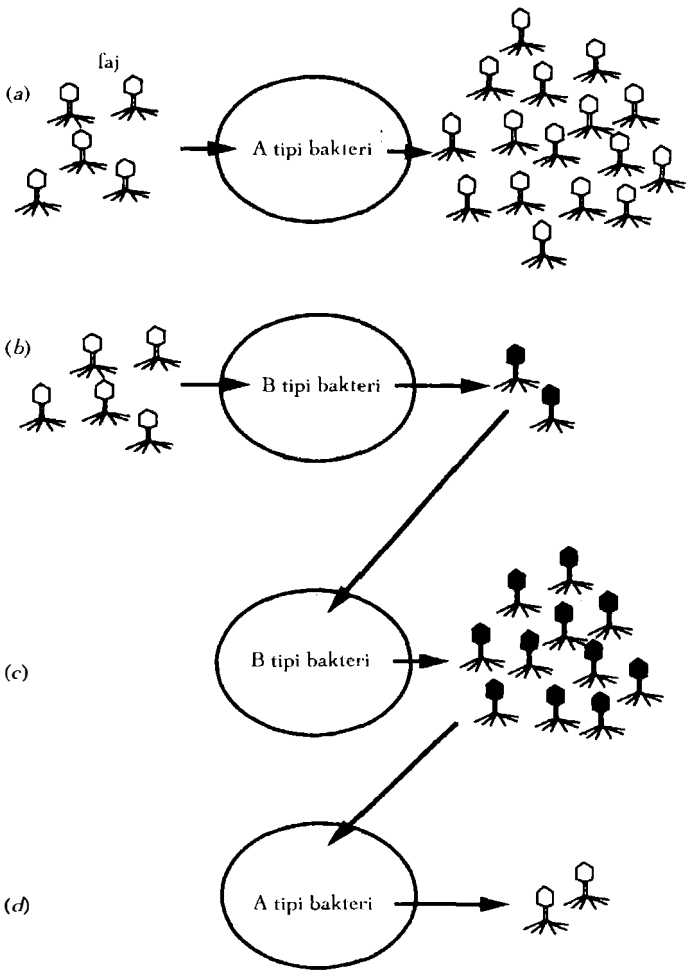
nun bakteri tipleri arasındaki farktan kaynaklandığı fikri ortaya çıktı. İçlerinde faj üremesini engelleyen bakteri tiplerinin, fajların çoğalmasını **sınırladığı** belirtildi.

Bununla beraber, belirli bir (sınırlayıcı olmayan) bakteri tipinin içinde gayet iyi çoğalabilen faj, yetersiz de olsa sınırlayıcı bakteri tipleri içinde de belli bir dereceye kadar gelişebiliyor ve bu sınırlayıcı bakterilerden az sayıda faj çıkarılabiliyordu. Ama çıkarılan bu fajlar aynı sınırlayıcı bakteriye eklendiği zaman, bu sefer hızla gelişiyor, yani artık bakteri tarafından sınırlanmıyordu (Şekil 26). Benzer şekilde, sınırlayıcı bakteriden çıkarılan az sayıdaki faj, başlangıçta içinde iyi bir şekilde gelişebildiği bakteri tipine eklendiğinde artık zor gelişiyordu. Başka bir deyişle faj, sınırlayıcı bir bakteri tipinde enfeksiyon döngüsünden geçirilirse, bu bakterilerde de geliştirilebiliyordu. Bu veriler, bakterinin bir şekilde fajı değiştirdiği ve bu değişimin fajın bakterinin içinde gelişmesine olanak tanıdığı şeklinde yorumlanabilirdi.

Farklı bakterilerdeki bu **sınırlama-değiştirme sistemleri**nin araştırılması bunun sık görülen bir özellik olduğunu, çoğu bakterinin bu özelliği taşıdığını gösterdi. Üstelik bunlar her bakteri tipi için özeldi: Faj bir bakteri tipi tarafından değiştirildiğinde daha sonra başka tiplerin değil ancak o tipin içinde gelişebiliyordu. Ayrıca bazı bakteri tiplerinin birden fazla sınırlama-değiştirme sistemi olduğu ve fajı birden fazla şekilde değiştirebileceği anlaşıldı.

Fajların bakteri içinde çoğalacak şekilde değiştirilme ve çoğalmalarını önleyecek şekilde sınırlanma mekanizmaları, 1960'larda İsviçreli biyokimyacı Werner Arber ve çalışma arkadaşları bakterinin fajın baş ve kuyruk kısımlarındaki proteinleri değil de faj DNA'sını değiştirdiğini kanıtlayana kadar anlaşılamadı. Arber ve ekibi sınırlayıcı olmayan bir bakteri tipi içinde gelişen fajın DNA'sının, sınırlayıcı bakterinin içine girdikten hemen sonra bölünüp parçalandığını fark ettiler. Aynı DNA sınırlayıcı olmayan bakteri içine girdiğinde bölünüp parçalara ayrılmıyordu. Fajlar sınırlayıcı bakteriye kuyruklarıyla tutunup

DNA'larını bu bakterilerin içine sokabiliyor, fakat faj DNA'sı sınırlayıcı bakterinin içinde çok uzun yaşamıyordu. Bu durum, faj DNA'sının nasıl değiştiği, değişmediği durumda DNA'nın sınırlayıcı bakteri tipleri tarafından neden bölündüğü gibi konulardaki araştırmaları yoğunlaştırdı.



Şekil 26. Fajların çoğalmasının bakteri tarafından sınırlanması. Faj A tipi bakteri içinde verimli bir şekilde çoğalırken (*a*), B tipi sınırlayıcı bakteri içinde aynı şekilde çoğalamıyor (*b*). B tipi içinde üreyen az sayıdaki faj, B tipi bakteriye eklenirse sınırlama olmuyor (*c*): B tipi bakteri, fajı çoğalmasına olanak verecek şekilde değiştiriyor. B tipi bakterinin içinden geçen faj artık A tipi tarafından sınırlanıyor (*d*).

Faj DNA'sının sınırlayıcı bakterinin içine girdiği zaman bölünüp parçalanması, bakterinin faj çoğalmasını **DNA endonükleazları** adı verilen proteinleri kullanarak sınırladığını düşündürmekteydi. DNA endonükleazları DNA'nın niteliğini bozan enzimlerdir. Daha önceden de DNA'yı küçük parçalar halinde bölerek parçalayan benzer bazı enzimler biliniyordu. Fakat faj DNA'sının sınırlayıcı bakteri tarafından bölünüp parçalara ayrılmasıyla ilgili ayrıntılı araştırmalar, faj DNA'sının önce nispeten büyük parçalara bölündüğünü, sonra da bu büyük parçaların daha küçük parçalara ayrıldığını gösterdi. Faj DNA'sının ilk başta büyük parçalara bölünmesinin çok hassas olduğu görülüyordu. Yani eldeki bulgular DNA'nın başta gelişigüzel büyüklükte parçalara değil, belirli yerlerden, belirli büyüklükte parçalara bölündüğü izlenimini vermekteydi.

Faj DNA'sının bakteri tarafından nasıl değiştirildiği üzerine yapılan çalışmalar, **DNA metilazları** denen ve DNA'ya kimyasal gruplar ekleyen özel enzimlerin bulunmasına yol açtı. Bakteriler, faj bulaşmasını engellemek için sınırlayıcı enzimleri (sınırlayıcı DNA endonükleazları) kullanarak faj DNA'sını bölerek parçalar. Kendilerini kendi sınırlayıcı enzimlerinden korumak için kendi DNA'larını değişikliğe uğratmak zorunda olan bakteriler, bunu DNA metilazlarını kullanarak yaparlar. Faj sınırlamayı atlatırsa, bakterinin DNA metilazları tarafından, tıpkı bakterinin kendi DNA'sını değiştirdiği gibi değiştirilir. Sınırlayıcı endonükleazlara duyarlı olmaktan çıkan değişime uğramış faj DNA'sı artık bakteri içinde çoğalabilir. Bu, fajın sınırlayıcı bakterinin içinden geçtikten sonra neden daha önce sınırlayıcı olan bu bakteriler içinde artık verimli olarak çoğalabilen faj nesilleri üretebildiğini açıklar: Faj DNA'sı sınırlayıcı enzimlerden korunacak şekilde değişime uğramıştır ve artık parçalanmadığına göre de faj başarıyla üreyebilir.

Daha sonra faj DNA'sının sınırlanma ve değiştirilmesinin, canlı bakteri hücreleri yerine bakteri özleri kullanılarak izlenebileceği gösterildi. Sınırlama-değiştirme mekanizmasının işleyi-

şinin anlaşılmasını kolaylaştıran da bu olmuştur. Bakteri özleri faj DNA'larını değiştiren aktif DNA metilazlarını, onlar da değişmemiş faj DNA'sını bölen sınırlayıcı enzimleri içeriyordu. DNA metilazları ve sınırlayıcı enzimler bütün diğer bakteri bileşenlerinden yalıtılmış haldeki bakteri özlerinden artık çıkarılabilirdi.

Amerikalı biyokimyacı Hamilton O. Smith ve çalışma arkadaşları, bir sınırlayıcı enzimi ayıran ve bu enzimin faj DNA'sını belirli parçalara böldüğünü gösteren ilk ekip olmuştur. Aynı laboratuvarda çalışan Daniel Nathans ise kanser yapıcı bir virüsü inceliyor ve virüse kanser yapıcı özelliklerini veren DNA parçasını yalıtmak istiyordu. Smith'in enziminden bir miktar alarak DNA'nın o parçasını başarıyla virüsten ayırdı. Nathans ve ekibi faj DNA'sını sınırlayıcı enzimle işlemden geçirerek on bir DNA parçası elde ettiler ve bu parçalardan her birinin faj tarafından şifrelenen bir ya da daha fazla gen içerdiğini gösterdiler. İlk **sınırlama haritası**nı Nathans yapmıştır. Sınırlayıcı enzim, faj DNA'sını gelişigüzel yerlerden değil belli yerlerden kesiyordu.

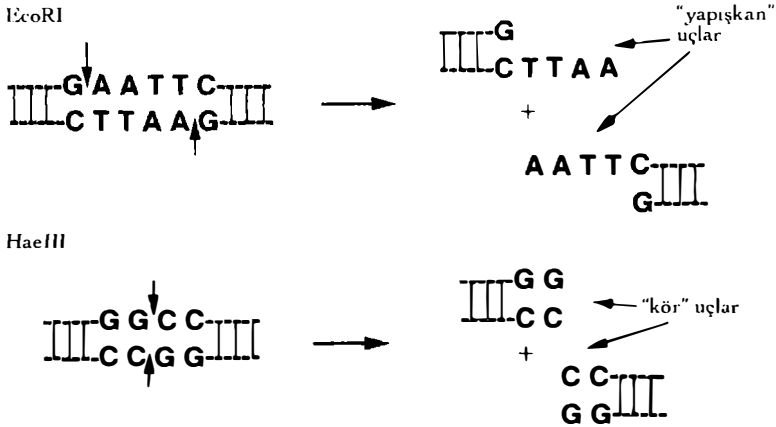
Başka birçok sınırlayıcı enzimin de DNA'yı sadece belli yerlerden kesme özelliğine sahip olduğunun ortaya konulması, bu enzimlerin DNA'nın içinde bulunan çok spesifik bölgeleri tanıması gerektiği anlamına geliyordu. Yani bu enzimlerin DNA'yı belirli şekilde dizilmiş dört harfli genetik şifre dizilerinden kesmesi gerekiyordu (genetik şifreleri oluşturan harfler yani bazlar A, T, C ve G'dir). Bir DNA molekülündeki bazları tanımlama yöntemleri geliştirildiğinde, sınırlayıcı enzimlerin tanıyıp kestiği baz dizileri de belirlendi. Enzimler tarafından kesilebilecek birçok olası baz dizisi olduğu ve her sınırlayıcı enzimin DNA'yı kendine özgü baz dizisinden kestiği anlaşıldı. Ancak bazen farklı sınırlayıcı enzimler aynı baz dizisini tanıyordu. DNA'yı belirli noktalardan kesen sınırlayıcı enzimlerin elde edilebilmesi, genlerin canlı organizmaların DNA ansiklopedilerinden çıkarılarak daha küçük parçalara bölünebilmesine olanak sağla-

dı. DNA'ları büyüklüklerine göre yalıtma ve DNA dizilerini birbirleriyle karşılaştırma teknikleri gibi yöntem açısından önemli diğer gelişmelerin yanı sıra, DNA moleküllerinin sınırlayıcı enzimlerle kesilebilmesi bilim adamlarına genleri laboratuvarda ele alma ve inceleme konusunda yeni bir yaklaşım sağladı. 1990'a gelindiğinde yüzlerce farklı DNA dizisini tanıyan ve yüzlercesi piyasada bulunabilen binden fazla sınırlayıcı enzim tanımlanmıştı.

Sınırlayıcı Enzimlerin Özellikleri

Sınırlayıcı enzimler kendilerini üreten organizmanın adına göre adlandırılır. Adları o organizmanın Latince adındaki cins belirten kelimenin ilk harfiyle, tür belirten kelimenin ilk iki harfinden oluşur. Örneğin *Escherichia coli* bakterisinin ait olduğu cinsin adı *Escherichia*, türün adı *coli*'dir. Dolayısıyla *Escherichia coli*'den elde edilen sınırlayıcı enzimlere Eco denir. EcoRI enzimi de R tipi *Escherichia coli*'den yalıtılan ilk sınırlayıcı enzimdir. Sınırlayıcı enzimler en çok mikroorganizmalarda bulunmuştur, ama bundan çok daha yaygın olabilirler. Nitekim insan embriyosunda bir sınırlayıcı enzim bulunmuştur. İnsan *Homo sapiens* türüne aittir, insandaki sınırlayıcı enzimin adı da Hsal'dır. Bütün sınırlayıcı enzimlerin, hücreleri yabancı DNA'lardan, örneğin virüs DNA'larından koruma rolü oynayıp oynamadığı henüz belirlenememiştir. Bazılarının genlerin yapısını, düzenini, özelliklerini ve şifrelerini denetlemede önemli işlevleri olabilir.

Bazı sınırlayıcı enzimler DNA'yı belli noktalardan kesmez, dolayısıyla rekombinant DNA teknolojisinde çok fayda sağlamazlar. DNA'yı belirli noktalardan kesen sınırlayıcı enzimlerin bazıları DNA'nın ikili sarmalının iki iplikçiğini de aynı yerden keser, böylece "kör uçlu" parçalar meydana gelir (Şekil 27). Diğerleriyse iki iplikçiği birbirleriyle çakışmayan noktalardan keserek "yapışkan" uçları olan parçalar meydana getirir. Yapışkan uçlu DNA parçaları meydana getiren enzimler DNA'ları isteğe göre

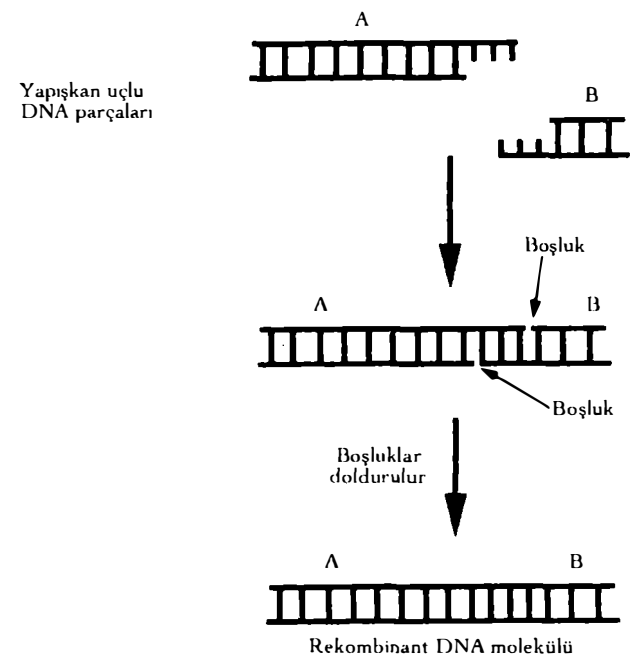


Şekil 27. Sınırlayıcı enzimler DNA'yı böler ve "yapışkan" ya da "kör" uçlar meydana gelir. EcoRI enziminde olduğu gibi (üstte), yapışkan uçlar enzimin DNA'yı tanıma dizisinin ortasından uzak bir noktadan kesmesiyle meydana gelir. HaeIII enziminde olduğu gibi (altta), enzim DNA'yı tanıma dizisinin ortasından keserse sonuçta kör uçlu parçalar ortaya çıkar.

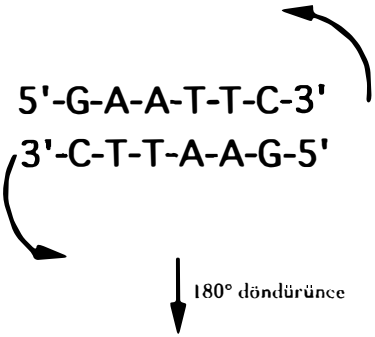
değiştirmede özellikle işe yarar, çünkü bir sınırlayıcı enzim tarafından meydana getirilen yapışkan uçlar, enzim tarafından kesilen DNA molekülü ne olursa olsun, hep aynıdır. Yapışkan uçlar birbirini tanır ve adlarından da anlaşılacağı gibi birbirine yapışırlar (Şekil 28). Böylece farklı DNA moleküllerinin aynı sınırlayıcı enzimle kesilmesiyle elde edilen DNA parçaları bir araya getirilerek bir melez yani **rekombinant DNA** molekülü meydana getirilebilir. Örneğin bir insan DNA'sı parçası, bir faj DNA'sı parçasıyla bir araya getirilerek bir insan-faj rekombinant DNA molekülü oluşturulabilir. Bu süreç bir fajın DNA ansiklopedisine insan genleri yerleştirmek için kullanılmış ve böylece insan geni yalıtılarak sanki fajın bir parçasıymış gibi geliştirilebilmiştir.

Sınırlayıcı enzimlerin birçoğu DNA harflerinden oluşan tanıma dizisi içindeki belirli noktaları tanır ve DNA'yı oradan keser. Bazıları özel bir diziyi tanır ama DNA'yı bu dizinin dışından keser. Yine de tanınma dizilerinin çoğunun simetrisi vardır. DNA'nın ikili sarmalının bir iplikçiğindeki dört DNA "harfi" olan A, G, C ve T'nin her birinin daima ikili sarmalın diğer ip-

likçiğindeki harflerden belli biriyle ilişkiye geçtiği tespit edilmiştir. T'nin karşısında hep A, G'nin karşısında da hep C vardır. İki iplikçiğin de yönü vardır; dolayısıyla, örneğin AACGT dizisi TGCAA dizisiyle aynı değildir. Bir DNA molekülünün sol ucu, sağ ucundan farklıdır ve bu iki diziyi doğru yazmanın yolu şudur: 5'AACGT3' ve 5'TGCAA3'. (5' ve 3' DNA molekülünün sol ve sağ uçları farklı kılan belirli kimyasal özelliklerini ifade eder.) Bir başka deyişle, 5'TGCAA3' değil ama 3'TGCAA5' 5'AACGT3'ün aynısıdır. Birçok sınırlayıcı enzimin tanıma dizileri içindeki DNA ikili sarmalının iki iplikçiği de incelenirse, bir iplikçikteki harflerin dizilişinin, diğer iplikçikteki harflerin dizilişiyle aynı olduğu görülür. Örneğin EcoRI, 5'GA-



Şekil 28. Sınırlayıcı enzimler tarafından "yapışkan uçlu" DNA parçalarının meydana getirilmesi iki DNA molekülünün birleştirilmesi için elverişlidir. Burada aynı sınırlayıcı enzimin farklı iki DNA molekülünü kesmesiyle meydana gelen farklı DNA parçaları (A ve B) birbirine yapışıyor ve iplikçiklerin arasındaki boşluklar iki "serbest" uç arasında kimyasal bağlar oluşunca kapanıyor. Böylece hem A hem B dizilerini içeren bir melez (rekombinant) DNA molekülü ortaya çıkıyor.



Şekil 29. Sınırlayıcı enzimler çoğunlukla simetrisi olan DNA dizilerine bağlanıp onları keser. DNA ikili sarmalının bir iplikçiğindeki tanıma dizisi, diğer DNA iplikçiğindeki dizinin aynısıdır. EcoRI tanıma dizisinde bu görülebilir. Dizi 180 derece döndürüldüğünde de aynı kalmaktadır.

ATTC3' dizilişindeki her DNA iplikçiğini tanır ve keser. A hep T ile ve G hep C ile eşleştiği için ve bir iplikçiğin 5' ucu hep diğer iplikçiğin 3' ucunun karşısına geldiği ya da bunun *tam tersi* olacağı için, bir DNA ikili sarmalındaki bu dizilişe sahip iplikçiğin karşısındaki iplikçik de 5'GAATTC3' dizilişine sahip olacaktır. Bu simetriye iki yönlü döngüsel simetri denir. İkili sarmal 180 derece döndürüldüğünde başlangıçtaki molekülün aynısıdır (Şekil 29). Bu simetrik diziler tersten okununca da aynı olan kelimelere benzer. Bu yüzden bu DNA dizilerine palindromik DNA dizileri denir. Simetri, sınırlayıcı enzimin DNA'ya hangi şekilde bağlandığını ve onu karşılıklı iki iplikçiğin hangi noktasından kestiğini gösterir.

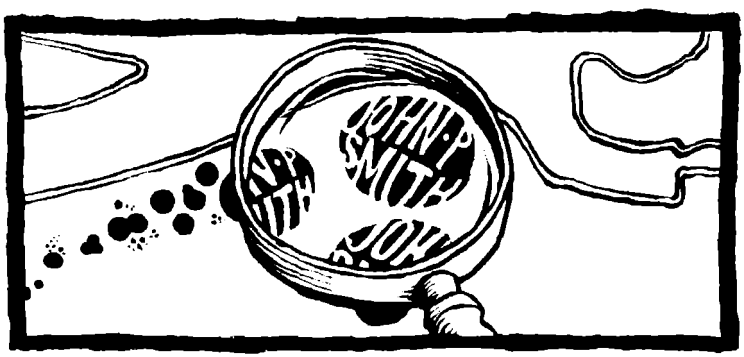
Bakterilerde her sınırlayıcı enzime denk gelen, sınırlayıcı enzimin tanıma dizisini değiştirerek DNA'nın kesilmesini önleyen bir DNA metilazı vardır. Örneğin, her DNA iplikçiğini GAATTC dizisinin G'si ile A'sı arasından kesen EcoRI, *Escherichia coli* içinde bu dizinin ikinci A'sını değiştiren bir DNA metilazı ile birlikte bulunur. Bu A değiştirildiği zaman EcoRI ar-

tık DNA'yı kesemez. Bu sayede bakterinin DNA ansiklopedisindeki bütün GAATTC dizileri, A'ya bir kimyasal ekleyen DNA metilazı tarafından değiştirilmiş olur ve böylece bakterinin EcoRI sınırlayıcı enzimi kendi DNA'sını kesmez. Fajlardan ve başka kaynaklardan gelen bu şekilde değiştirilmemiş yabancı DNA'lardaki bütün GAATTC dizileri kesilir. Yabancı DNA'nın EcoRI tarafından kesilmesini engellemek için GAATTC dizisinin ikinci A'sının DNA metilazı tarafından değiştirilmesi gerekir.

Sınırlayıcı enzimlerin çoğu 4-6 harf uzunluğundaki dizileri tanır, ama bazıları daha fazla harften oluşan dizileri de tanır. Diğer sınırlayıcı enzimler ise özel bir DNA dizisini tanır ama DNA'yı bu dizinin dışından, dizinin sonundan belli sayıda harf sonra keser. Yüzden fazla farklı mikroorganizmadan sınırlayıcı enzim yalıtılmıştır. Bu enzimlerin tanıdığı ve kestiği dizilerin çeşitliliği, bilim adamlarına farklı gereksinimlere cevap verebilen moleküler makaslar sağlar. DNA molekülleri parçalara bölünüp birleştirilebilir, hayvanların, bitkilerin ve mikrop hücrelerinin DNA ansiklopedilerine eklenebilir. Artık normalde organizmalarında bulunmayan yabancı genler taşıyan **genleri değiştirilmiş** (transgenik) hayvanlar ve bitkiler elde etmek mümkün. Örneğin, bitkilerin DNA ansiklopedilerine antikor genleri eklenerek hayvan antikorları üretilebilir. Bu yöntemle tıbbi ve tarımsal açıdan faydalı ürünler üretme potansiyeli de çok fazladır. Artık gen mühendisliği çağındayız; bu çağ bize sadece faydalı ürünler sunmakla kalmayacak, belki kistik fibrozis ve kas distrofisi gibi genetik hastalıkların tedavi olanaklarını da gösterecektir. Sınırlayıcı enzimler bilim adamları bakterilerin kendilerini fajlardan nasıl koruduklarını anlamaya çalıştıkları sırada keşfedildi, ama sonra rekombinant DNA teknolojisine yaptıkları katkılarla dünyayı değiştirdiler.

XVII. Bölüm

Moleküler Dedektif DNA



İngiltere'de Leicester, Enderby'da 1983 yılında genç bir kız tecavüze uğramış ve boğularak öldürülmüştü. Üç yıl sonra, olay yerine sadece 1-2 kilometre uzakta, on beş yaşında genç bir kız aynı şekilde tecavüz edilip öldürülmüş olarak bulundu. Leicestershire polisi iki kızın da aynı suçlunun kurbanı olduğunu düşünüyordu, ama bunu destekleyecek somut bir kanıt yoktu. O tarihte yani 1986'da, Leicester Üniversitesi Biyokimya Bölümünde Profesör Alec Jeffreys (doğ. 1950) liderliğindeki bir araştırma grubu, insanların kimliklerini belirlemeye ve onları birbirlerinden ayırt etmeye yarayan çok şaşırtıcı yeni bir bilimsel yöntem geliştirmişti. **DNA izi** adı verilen bu teknik, dünyadaki hiçbir insanın (aynı yumurta ikizi olanlar dışında) başka bir insanla aynı DNA izine sahip olma olasılığı olmadığı için, kusursuz bir teknikti. Geleneksel parmak izi tekniğin-

de olduğu gibi suçlunun ellerine ihtiyaç duyulmuyordu. Çok az miktarda vücut sıvısından, örneğin kandan ve meniden birkaç dakika içinde DNA izi çıkarılabilirdi. Yıllar öncesinden kalan kurumuş kan lekeleri bile, kanı dökülenin kim olduğunu tespit etmek için DNA izi çıkarmada kullanılabilirdi.

Kurbanların üzerinde bulunan Enderby katilinin ya da katillerinin meni kalıntıları, iki cinayeti de aynı kişinin işleyip işlemediğini tespit etmek üzere bu örneklerde yeni DNA izi yöntemini denemesi için Profesör Jeffreys'e verildi. Laboratuvar araştırması iki kurbanın üzerinde bulunan meni örneklerinden çıkarılan DNA izlerinin aynı olduğunu kesin olarak kanıtladı. Her iki kurbana da aynı adam tarafından tecavüz edilmişti, böylece polisin şüpheleri doğrulanmış oldu.

Cinayetlerin işlendiği bölgede yaşayan, ana şüpheli durumundaki on yedi yaşında bir genç suçunu itiraf bile etmişti. Fakat Jeffreys DNA izi analizi yaparak, gencin DNA izinin asıl tecavüzcünün meni örneğinden elde edilen DNA iziyle uyuşmadığını gösterdi. İtiraf etmesine rağmen, şüpheli gencin bu suçları işlemediği ortadaydı. Gerçek katili bulmak için kapsamlı bir arama başlatıldı. Polisin elinde çok önemli bir kanıt vardı: Suçlunun DNA izi.

1987 başında polis yöre halkından toplanan yaklaşık 5000 kan örneği üzerinde kitlesel bir tarama yaptı ve o kişilerin DNA izlerini çıkardı. Bunların hiçbiri tecavüze uğrayan kurbanlardan alınan meni örneklerinden elde edilen DNA izlerine ne yazık ki uymuyordu. Buna rağmen polis cinayetleri yöre halkından birinin gerçekleştirdiğinden şüpheleniyordu. Çok geçmeden bir adam iki iş arkadaşının kulak misafiri olduğu konuşmasını polise bildirdi. İçlerinden birisi diğerine, polisin yürüttüğü DNA izi taraması sırasında Colin Pitchfork adlı bir fırıncının kendisini kan vermeye ikna ettiğini söylüyordu. Polis Pitchfork'a gidip DNA izini aldığında, bu izin tecavüz kurbanlarından alınan meni örneklerinden çıkarılan DNA iziyle uyuştuğunu gördü. 1987 yılında Pitchfork, kanıt olarak DNA izi gösterilerek mahkûm edilen ilk katil oldu.

O günden sonra DNA izi tüm dünyada kullanılan bir adli tıp uygulaması olmuş, ilk yöntemde yapılan yeniliklerle suçluların bulunması konusundaki etkisi daha da artmıştır. Örneğin, artık bir insanın kimliği ölümünden yıllar sonra bile kemik dokusundan alınan DNA'nın incelenmesiyle belirlenebilmekte, tek bir kıl kökünden alınan DNA analiz edilebilmektedir. DNA izi babalık davalarında da sık sık kullanılmaktadır. Bir çocuğun gerçek babası şüpheye yer bırakmayacak bir şekilde belirlenebilmekte, baba olmayan erkeğin durumu kesin olarak ortaya konabilmektedir. Jeffreys'in yöntemiyle göçmenlerle yaşanan sorunlar da çözülmektedir. Örneğin, bir adamın belli bir ailenin babası olduğunu iddia ettiği ama aslında gerçek babanın erkek kardeşi olduğundan şüphe edildiği durumlarda DNA izi bu ayrımı yapabilmektedir.

Daha önce biyolojik örnekler üzerinde yapılan tıbbi analizler esas olarak kan grubu tahliline dayanıyordu. Kan grubu tahlili ancak elde bir kan örneği varsa yapılabilir, diğer doku ve vücut salgılarına uygulanamaz; kan grubu molekülleri kalıcı olmadığı için eskiden kalma kan örnekleriyle de yapılamaz. Kan grupları kişiden kişiye çok az farklılık gösterir, bu yüzden de kesin olmayan sonuçlar verir. DNA izinin ise böyle sakıncaları yoktur. Eski yöntemlerle bir kişi şüpheli durumundan çıkarılabiliyor, ancak şüphelinin asıl suçlu olduğu kanıtlanamıyordu. Oysa incelenecek malzemenin başka insanların DNA'sı ile karıştırılmaması, DNA'nın şüpheliden alınmış olması ve işlemin doğru bir şekilde yapılması koşuluyla, bu yöntem kullanılarak bir şüphelinin masum ya da suçlu olup olmadığı saptanabilir.

DNA izi hakkında söylenebilecek en ilginç şeylerden biri de tamamen şans eseri bulunmuş olmasıdır. DNA izini bulan Alec Jeffreys'in biyokimya araştırmalarını yaparken sonunda tesadüfen adli tıpta devrim yaratacak ve topluma doğrudan faydalı olacak bir yöntem bulacağına dair hiçbir öngörüsü yoktu. İşte sonunda hiç tahmin edilmeyen faydalar sağlayan bir araştırma daha: Bir deney tüpündeki DNA'nın moleküler bir Sherlock Holmes'a dönüşmesi.

DNA izini daha iyi anlayabilmek için genlerin doğasına ve DNA'ya biraz daha yakından bakmak gerekir.

DNA, Genler ve Proteinler

Aynı yumurta ikizleri hariç her insanın kendine özgü fiziksel özellikleri olduğunu biliyoruz. Yoksa insanları birbirlerinden nasıl ayırt ederdik? Bir insanın ya da herhangi bir başka canlı organizmanın fiziksel görünüşüne o organizmanın **fenotip**i denir. Fenotip büyük ölçüde vücudumuzdaki yüz binlerce molekülün birbiriyle etkileşimiyle belirlenir. Özellikle proteinler, canlı hücrelerin birçok yapısal öğesini oluşturdukları ve vücudumuzdaki kimyasal süreçlerin çoğunu, örneğin besin enerjisinin kas hareketine dönüştürülme sürecini gerçekleştirdikleri için fenotipin belirlenmesinde büyük rol oynarlar. Göz rengi, saç rengi ve yapısı, boy uzunluğu ve vücut yapısı hep geniş ölçüde proteinler tarafından belirlenir.

Bu proteinler nereden geliyor? Çoğu vücut hücrelerimiz tarafından yapılıyor: Aldığımız besinlerden gelen ve hücrelerimizin diğer besin bileşenlerinden, örneğin şekerden yaptığı **aminoasit** denilen kimyasallardan oluşuyorlar. İnsan vücudunda on binlerce değişik protein vardır, her biri belirli bir düzene sahip yüzlerce aminoasitten meydana gelir. Bu her proteinin bir diğerinden farklı olduğu ve vücutta belirli bir işlevi yerine getirmeye uygun olduğu anlamına gelir. İnsulin kan şekeri seviyesini kontrol eden bir proteindir, antikorlar yabancı bakterilere ve vücudumuzun diğer istilacılarına saldıran ve onları yok eden proteinlerdir, keratin saçların ve tırnakların yapısının büyük kısmını oluşturan bir proteindir, hemoglobin ise vücut hücrelerinin gelişebilmesi için gereken oksijeni hücrelerimize taşıyan proteindir.

Proteinlerin farklı hücreler tarafından nasıl belirli biçimde üretildiğini anlamanın anahtarı **genler**dir. Genler proteinleri kodlar, o yüzden fenotipimizin büyük bir bölümünü onlar belirler. Vücudumuzdaki her protein belli bir gen tarafından kodla-

nır. İster beyin, ister karaciğer, böbrek, deri ya da akciğer hücresi olsun, vücudumuzdaki neredeyse her hücre bütün bir organizmayı oluşturmak için gereken bütün genleri barındırır. Yani, bir karaciğer hücresi sadece karaciğer hücrelerinde veya hem karaciğer hem de beyin hücrelerinde bulunan proteinleri kodlayan genler dışında, sadece beyinde bulunan proteinleri kodlayan genleri de barındırır. Bu nedenle bir karaciğer hücresiyle bir beyin hücresi arasındaki fark, protein elde etmek için bu hücrelerdeki hangi gen kümesinin kullanıldığına bağlıdır. Bir karaciğer hücresi sadece karaciğer hücresi için gereken proteinleri yapmak için programlanmıştır, yani bu proteinlerin genleri "açık"tır. Beyine özgü proteinler, onları kodlayan genlere sahip olsa bile karaciğer hücresi için gerekli değildir. Dolayısıyla karaciğer hücresinde, beyine özgü proteinleri üreten genler "kapalı"dır, bu yüzden de karaciğer hücreleri beyine özgü proteinleri üretmez. Vücudumuzdaki farklı hücreleri ve dokuları üreten farklı protein kümelerinin seçici olarak ifade edilmesidir.

Genler bize annemizden ve babamızdan, gelişmemizi başlatan sperma ve yumurtayla geçer. Genlerimizin yarısı annemizden, diğer yarısı babamızdan gelir. Bireysel farklılıklarımız anne ve babamızdan aldığımız genlerin bileşiminden kaynaklanır. Anne ve babamızdan bize geçen genlerin milyonlarca biçimde bir araya gelme olasılığı vardır. Bu yüzden kardeşlerimizle dış görünüş olarak tamamıyla farklı olabiliriz. Ama yine de birçok ortak gene sahip olduğumuz için birbirimize benzeriz.

Genler doğanın olağanüstü karmaşık ve çok güzel bir yüzü oldukları halde gizemli değillerdir. Genler DNA'dan meydana gelir; bir kişinin fenotipini belirleyen proteinleri üretmek için hücre içindeki DNA'nın nasıl "okunduğu" artık büyük ölçüde anlaşılmıştır. DNA'nın ve DNA'nın proteinleri nasıl kodladığının anlaşılması, insanlığın yirminci yüzyıldaki en büyük başarılarından biridir.

Bir proteindeki aminoasitlerin dizilişi sadece o proteine özgüdür ve proteine yapısal ve işlevsel özelliklerini verir. DNA, bir

proteinin aminoasit dizisini belirleyen dört harfli basit bir alfabedir. Bu dört harf, yani A (adenin), G (guanin), C (sitozin) ve T (timin) uzun zincirler halinde bir araya gelen farklı kimyasal yapılardır (bazlardır). Belli bir proteinin geni, bu dört ayrı harf açısından okunarak proteinin aminoasit dizisi öğrenilebilir. Örneğin, insülin geni bu dört harfin özel bir şekilde düzenlenmiş binlercesini içeren bir DNA parçasından oluşur. Bir hücre insülin yaparken, insülin genindeki bilgiyi okur ve insülin proteinini yapar.

DNA aslında canlı hücrelerin kendi yapılarını inşa edebilmek ve yaşamsal süreçleri gerçekleştirmek için protein yapmak üzere okudukları olağanüstü bir moleküler ansiklopedidir. Her insan hücresi, bütün vücuttaki her proteini tanımlayan bir DNA ansiklopedisine sahiptir, ama belirli bir tip hücre için bu "paragraflar"ın yani genlerin sadece küçük bir parçası gereklidir. Örneğin, bir beyin hücresi sadece ihtiyacı olan paragrafları okur, yani sadece düzenli işlevi için ihtiyaç duyduğu proteinleri üretir.

Bir organizmanın DNA ansiklopedisine **genom** denir. İnsan genomu yaklaşık olarak yüz bin farklı genden oluşur. Tek bir insan hücresindeki DNA yalıtılıp dümdüz açılsa uzunluğu iki metre civarında olur. Ortalama bir yetişkin trilyonlarca hücreden oluştuğuna göre, vücudun her hücresindeki DNA çıkarılıp açılsa, ortaya çıkan ip Dünya'dan Ay'a binlerce kez gidip gelecek uzunlukta olurdu.

Son yirmi yılda genler hakkındaki bilgimiz çok arttı; genleri laboratuvarda yapay olarak değiştirebilecek düzeye geldik. İnsan genomunun neredeyse her parçasının DNA kodu yalıtılıp küçük bir deney tüpüne alınabiliyor. Bir gün belki de kistik fibrozis, Down sendromu ve kas distrofisi gibi genetik hastalıkların DNA'lar üzerinde değişiklik yapılarak tedavi edilebileceği bir gen mühendisliği dünyasında yaşıyoruz. Her koşulda, DNA kontrolü konusunda sağlanan büyük gelişme, kistik fibrozis ve kas distrofisi gibi hastalıklara neden olan bozuk genlerin araştı-

rılmasına olanak verdi. Bu tip araştırmalar, bu gibi hastalıkların tedavisinin yolunu açabilecek ipuçları vermektedir.

İnsan hücresindeki DNA'nın büyük bir bölümünün aslında proteinleri kodlamadığı anlaşıldı. Bazı biyologlar buna DNA "çöpü" dese de, bu "çöpün" en azından bir kısmının önemli işlevleri olduğu ortaya çıktı. Protein kodlayan genlerin kişiden kişiye değişkenlik göstermesine rağmen, "çöp" yani kod oluşturmayan DNA çok daha değişkendir ve zaten DNA izinin temelini oluşturan da budur.

DNA izi, insan DNA'sına ve DNA'nın kişiden kişiye nasıl değişkenlik gösterdiğine ilişkin araştırmalardan doğmuştur. Adli uygulamalar bu araştırmanın yan amaçlarından biri bile değildi; tersine beklenmeyen yan ürünlerinden biriydi. Bilimsel araştırmalar işte böyle gelişir: Ne hazineler sakladığından kimse emin olamaz.

DNA İzinin Bulunuşu

Alec Jeffreys 1950 yılında İngiltere'nin Oxford şehrinde doğmuştu. Erken yaşta canlı hücreleri meydana getiren moleküller ilgisini çekti ve Oxford Üniversitesi'nde biyokimya eğitimi gördü. 1970'lerin başında bilim adamları DNA'ların proteinleri nasıl kodladığını ve farklı hücre tiplerinin neden farklı protein kümeleri ürettiğini araştırmak için yöntemler geliştirmişti. Bu araştırma alanı Jeffreys'in çok ilgisini çekti ve doktora çalışmasını bu konu üzerine yaptı.

1970'lerin sonuyla 1980'lerin başında, bilim adamları genleri yalıtıma aşamasına gelmişlerdi. Ayrıca dört harfin (A, G, C ve T) belirli bir DNA molekülündeki dizilişini belirlemek ve böylece onlar tarafından kodlanan proteinleri "okumak" da mümkündü. Birçok bilim adamı gibi Jeffreys de DNA moleküllerinin yalıtılmasının ve dizilişlerinin belirlenmesinin, hücrelerin protein üretmek için hangi gen kümelerini nasıl denetlediğini, genlerin nasıl evrimleştiğini ve anormal DNA dizilerinin yol açtığı kalıtsal hastalıkları, örneğin kistik fibrozisi ve kas distrofisini daha

iyi anlamamızı sağlayacağını düşünüyordu. Bu yüzden Hollanda'da, hemoglobini oluşturan bir protein olan globini kodlayan DNA'yı yalıtıp inceleyen bir ekibe katıldı. Hemoglobin kana kırmızı rengini verir ve akciğerden vücudun diğer bölgelerine oksijen taşınmasında çok önemli bir rol oynar. Globini kodlayan gen bir deney tüpü içinde yalıtılan ilk genlerden biridir.

Jeffreys Hollanda'da Dick Flavell'la (doğ. 1943) birlikte çalışırken genlerin herkesin düşündüğü kadar basit olmadığını keşfetti. Globin geni sürekli değildi, görünüşte anlamsız DNA dizileri tarafından kesintiye uğratılıyordu. **İntron** denilen bu kesintiler globin protein molekülünün herhangi bir bölümünü kodlamazlar, ama globini kodlayan genin içinde bulunurlar. Tıpkı DNA ansiklopedisinin paragraflarındaki anlamlı cümlelerin arasına anlamsız sözcükler serpiştirilmiş gibi. Daha sonra birçok gende intronlar bulundu ve anlamsız olmak bir yana, belirli genlerin ürettiği proteinlerin seviyesini düzenlediklerine dair bazı kanıtlar elde edildi.

Globin geni araştırmaları, Jeffreys'de DNA dizileri ve bunların insandan insana ve türden türe nasıl değişkenlik gösterdiğine dair bir merak uyandırdı. Leicester Üniversitesi'nde ders vermek üzere döndüğü İngiltere'de, bu sefer miyoglobin adlı proteini kodlayan başka bir gen üzerinde çalışmaya başladı. Miyoglobin hemoglobine benzer, ama kanda değil kas hücrelerinde bulunur. Miyoglobin kas hücrelerinin kas hareketlerinde kullanacağı oksijeni kandan almasını sağlar. Jeffreys'in liderliğindeki araştırma ekibi bir yandan da adına **miniuydular** denilen insan DNA dizileri üzerinde çalışıyordu. Miniuydular da intronlar gibi protein kodlamayan DNA dizileridir; her insan hücresinde binlercesi bulunur ve işlevleri henüz tam olarak anlaşılamamıştır.

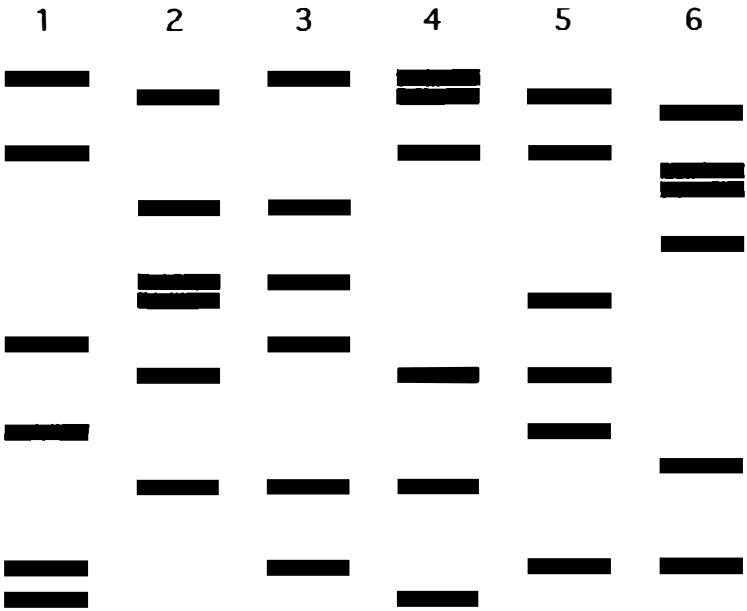
Jeffreys ve çalışma arkadaşlarının insana ait miyoglobin geninde bir miniuydu DNA dizisi bulması üzerine miyoglobin ve miniuydu araştırma projeleri birleşti. Miniuydu, miyoglobin geninin intronlarından birinde görülmüştü.

Jeffreys bu miniuyduya, genel olarak DNA dizilişlerini ve bunların insan genomundaki düzenlerini ele aldığı gibi yaklaştı. Acaba genomun başka bir yerinde, miyoglobin dışındaki protein kodlayan diğer genlerde de mini uydular bulunuyor muydu. Eğer öyleyse, Jeffreys'e göre miniuydular farklı gen bölgelerinin "işaretlenmesi"nde ve anormal DNA dizilerinin hatalı proteinler, dolayısıyla da hastalıklı fenotipler kodlamasıyla kalıtsal hastalıklara neden olan genlerdeki anormal bölgelerin saptanmasında kullanılabilirdi.

Jeffreys'in ekibi bulduğu miyoglobin miniuydu DNA dizisinin insan genomunun başka yerlerinde de olup olmadığını araştırırken, benzer dizilerin gerçekten de başka birçok yerde daha bulunduğunu gördü. Ama şaşırtıcı olan, farklı insanların genomlarında farklı miniuyduların bulunmasıydı. Miniuydu DNA dizilerinin uzunlukları insandan insana o kadar büyük farklılıklar gösteriyordu ki, Jeffreys tesadüfen insanları birbirlerinden ayırt etmeye yarayacak bir DNA dizisi bulduğunu (DNA izi) anladı. Ayrıca aralarında akrabalık bağı olan insanların DNA izlerinin, bütün değilse de bazı özelliklerinin ortak olduğunu keşfetti. Örneğin bir çocuğun DNA izi, anne ve babasının DNA izlerinden oluşturulabilirdi. Şekil 30, DNA izlerinin aile bireyleri arasında nasıl değiştiğini göstermektedir.

Jeffreys ve arkadaşları DNA izinin varlığını gösteren bilimsel makalelerini yayımladıktan sonra, İngiltere'deki ulusal gazeteler buluşu duyurdu. Bunun sonucunda, göçmenlikle ilgili bir davayı çözmekte zorlanan bir avukat Jeffreys'e başvurdu. İngiltere'de yaşamakta olan bir ailenin üyesi olduğunu iddia eden bir adamın İngiltere'ye girişine izin verilmemişti. Adam da avukatı da yetkilileri adamın aileyle ilişkisinin gerçek olduğuna ikna edememişti. Jeffreys ve ekibi, bu adamın ve aile üyelerinin DNA izlerini çıkararak, adamın iddia ettiği kişi olduğunu hiçbir şüpheye yer bırakmayacak şekilde kanıtladılar.

Gazeteler bu hikâyeye büyük ilgi gösterdi ve Jeffreys'e başka göçmenler için de DNA izi çıkarması talepleri yağmaya baş-



Şekil 30. Aile bireylerinin DNA izleri. 1. sütun annenin DNA izini; 2. sütun babanın DNA izini; 3., 4. ve 5. sütunlar üç çocuklarının DNA izini gösteriyor. Her çocuğun anneden de babadan da şeritler aldığına ve çocuklardaki bütün şeritlerin ya annede ya da babada bulunduğuna dikkat edin. 6. sütundaki DNA izi bu ailenin üyesi olmayan birisine ait. Buradaki şeritler anne, baba veya çocuklarda görülenlerden tamamen farklı.

ladı. Nihayet 1985 yılı sonunda bu işi yapacak bir şirket kuruldu. İngiltere ve diğer ülkelerdeki adli laboratuvarlar kısa sürede gerekli teknolojiyi edindi ve DNA izi tüm dünyada suçları aydınlatmada, babalık davalarında ve göçmenlerle ilgili sorunların çözümünde kullanılmaya başlandı.

DNA İzi Tekniği

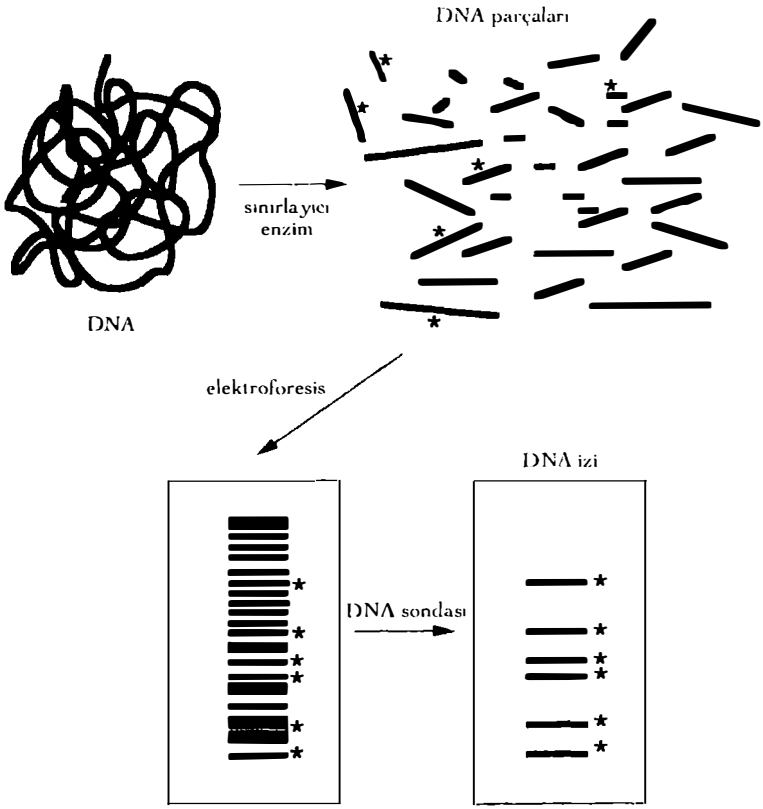
DNA izi çıkarmanın başlangıç noktası, DNA izi belirlenecek olan kişinin DNA'sını içeren bir örnek temin etmektir. Günümüzde DNA izi kan, meni, tükürük, saç ve kemik dahil pek çok maddeden çıkarılabilmektedir. DNA dayanıklıdır. Az miktarda da olsa iki bin beş yüz yıllık bir Mısır mumyasından ve beş bin beş yüz yıllık kemiklerden bile elde edilebilmiştir. Jeffreys ve ekibi bir cinayet kurbanının kimliğini, iskeletinden çıkarılan

DNA'yı anababası olduğu farz edilen kişilerinkilerle karşılaştırarak tespit etmiştir. Ayrıca pamuklu bir kumaştaki dört yıl öncesinden kalma bir kan lekesinden iyi durumda DNA çıkarılabileceğini ve DNA izi çıkarmada kullanılabileceğini de keşfetmişlerdir.

Son zamanlarda DNA izi işlemlerinin çok küçük örnekler üzerinde de uygulanması mümkün hale gelmiştir. Tek bir kıl kökünde beş bin civarında hücre bulunmaktadır ve bu kesin bir DNA örneği çıkarmak için yeterlidir. Aslında artık tek bir hücrenin bile DNA'sını ortaya çıkarmak mümkündür. Bu "polimeraz zincir reaksiyonu" adı verilen başka bir işlem sayesinde gerçekleştirilmektedir. Bu işlemde tek bir hücrenin DNA'sının binlerce kopyası yapılır ve bunlar Jeffreys'in yöntemiyle incelenir. Adli tıp artık çok değişti: Bir suç mahallinden elde edilen azıcık bir DNA bile kurbanların ve suçluların teşhisinde kullanılabilir.

İncelenen vücut sıvısı ya da doku örneğinden DNA yalıtıldıktan sonra, DNA izi çıkarma işleminin uygulanıp uygulanamayacağına karar vermek için bu DNA'nın niceliği ve niteliği belirlenir. Şekil 31, böyle bir DNA'dan iz elde etmek için daha sonra uygulanan yöntemi göstermektedir. DNA, sınırlayıcı enzimler yani DNA'yı belirli yerlerden kesen proteinler (XVI. Bölüm) kullanılarak tanımlı diziler içeren parçalara ayırılır. Bu, bir insan genomunun miniuydular içeren farklı bölgelerinin birbirlerinden ayırılmasına olanak sağlar. Kimi miniuydular çok büyük DNA parçalarında, kimileri küçük parçalarda bulunur; sınırlayıcı enzimlerin oluşturduğu bazı parçalarda da miniuydu diziler bulunmaz.

DNA parçaları daha sonra **elektroforesis** adı verilen bir işlemle büyüklüklerine göre ayırılır. Bu yöntemde bir elektrik akımının etkisiyle büyük DNA parçaları, küçük olanlardan daha yavaş hareket eder. Sonra miniuydu DNA içeren parçaların belirlenmesi gerekir, çünkü bu parçalar elde edilen toplam DNA parçalarının çok küçük bir kısmıdır. Bu amaçla miniuydu DNA'ları bulan bir "sonda" kullanılır; sonunda belirli bir dü-



Şekil 31. DNA izi çıkarma. İzi çıkarılacak DNA örnekten (kan, sperma, vs.) çıkarılır ve tanımlı parçalara ayırılır. DNA parçaları elektroforesis işleminden geçirilerek büyüklüklerine göre ayrılır, sonra miniuydu DNA dizileri içeren parçaları saptayan bir DNA sondasıyla incelenir. Son aşamada miniuydu DNA içeren DNA parçalarını gösteren DNA izi elde edilir. "İz" dizilerini içeren parçalar yıldızla işaretlenmiştir.

zendeki şeritlerden (miniuydu DNA içeren farklı büyüklüklerdeki DNA parçalarından) oluşan, tek kişiye özgü DNA izi ortaya çıkar.

DNA izleri barkodlara benzetilebilir. Her ürünün, onu diğer bütün ürünlerden ayıran ve otomatik ödeme kayıt cihazının o ürünün bir bezelye konservesi mi, bir paket un mu yoksa başka bir şey mi olduğunu anlamasını sağlayan kendine ait bir barkodu vardır. DNA izi de kişileri aynı doğruluk ve basitlikle tanımlar.

DNA izi adli tıp dışındaki alanlarda da kullanılmaktadır, ayrıca yeni kullanım alanları da keşfedilmektedir. Hayvanlarda, hatta bitkilerde bile miniuydu benzeri DNA'lar görüldü. Çalınan hayvanları tespit etmede, cins hayvan üretmeyle ilgili sorunlarda soy tespit etmede ve bitki geliştirme çalışmaları sırasında üretilen bitkilerin özelliklerinin belirlenmesinde DNA izi kullanılabiliyor. Örneğin İngiltere'de bir köpek gösterisinde şampiyonluk kazanan bir köpeğin soyunu kanıtlamak için Jeffreys'in yöntemi kullanılmıştır.

Organ nakillerinde de DNA izi vericininkinden farklı olan bir kişiden organ alındığı için, organ naklinden sonraki süreci incelemek için DNA analizi kullanılabilir. Örneğin, kemik iliği nakli yapılmış bir kan kanseri hastasından alınan kemik iliği hücrelerinden çıkarılan DNA izi, nakledilen hücrelerin alıcının vücuduna uyum sağlayıp sağlamadıklarını belirlememize olanak sağlayabilir.

1980'lerin sonunda Brezilya'da, İkinci Dünya Savaşı sırasında kurulan Auschwitz toplama kampının kurbanları tarafından "Ölüm Meleği" olarak bilinen Nazi doktor Josef Mengele'ye ait olduğu söylenen bir ceset bulunmuştu. Kanıtlar incelendi ve uzmanlar cesedin gerçekten Mengele'ye ait olduğu sonucuna vardılar, ama hâlâ bazı kuşkular vardı. Daha sonra hem cesetten hem de Mengele'nin yaşamakta olan yakın akrabalarından DNA izleri alındı. Sonuçlar hiçbir kuşkuya yer bırakmadan cesedin acımasız Nazi doktora ait olduğunu ispatladı.

Kazalarda, örneğin bir patlamada veya uçak kazasında ölen ve kimlikleri başka türlü belirlenemeyecek kurbanların teşhisinde de DNA izi kullanılabilir.

Alec Jeffreys için sadece bilimsel bir arayış olan şey, sonunda suçları aydınlatan çok güçlü bir silaha dönüştü ve yaşamın başka birçok alanına da yayıldı. Ekibindeki araştırmacılar DNA izinin kişiye özgü olduğunu tespit ettiklerinde bile, Jeffreys adli mercilerin moleküler kanıtları kabul edip etmeyeceğinden emin değildi: "DNA izi bulunduğu zaman, DNA'lardan el-

de edilen kanıtlar araştırma laboratuvarından alınıp duruşma salonuna götürüldüğünde ciddi sorunlar çıkacağını düşünüyorduk. Sonraki gelişmeler gereğinden fazla kötümser olduğumuzu gösterdi."

XVIII. Bölüm

Sihirli Mermiler



Yirminci yüzyılın ikinci yarısında rekombinant DNA teknolojisinde çok büyük adımlar atıldı. Rekombinant DNA teknolojisi birçok hastalığın daha iyi anlaşılmasını, engellenmesini, teşhisini ve tedavisini mümkün kılacağı gibi yeni ilaçların yapılmasını ve yeni tarımsal ürünler elde edilmesini de sağlayacaktır. Hastalık araştırmalarıyla ilgili çok büyük bir başka adım da 1975 yılında, canlı organizmaların hastalık taşıyan organizmalara karşı savaşmak için kullandığı savunma sistemini araştıran immünoloji alanında atıldı. Bu dev adım biyoloji, tıp ve biyokimya alanlarındaki araştırmalar için çok güçlü bir araç (**monoklonal antikorlar**) sağladı. Monoklonal antikorlar bilime çok büyük katkıda bulunmuştur: Tıp alanında kanserin ve diğer hastalıkların teşhisinde, hamilelik testlerinde ve doku tipi belirlemede kullanılmaktadırlar. Ge-

lecekte kansere karşı ilaç olarak kullanılmaları da mümkün olabilir.

Monoklonal antikorların ne olduğunu ve neden önemli olduklarını anlayabilmek için hayvanların bağışıklık sistemlerinin bazı özelliklerini anlamak gerekir. Bağışıklık sistemi olmadan normal şartlar altında çoğumuz doğumdan sonra pek uzun yaşayamaz, kısa sürede bulaşıcı hastalıklara yenik düşerdik. Bağışıklık işlevi eksikliğinin en çarpıcı sonuçları, bağışıklık sisteminin belli unsurlarının (T hücrelerinin) bozulmasıyla ortaya çıkan edinilmiş bağışıklık eksikliği sendromu (AIDS) hastalığına yakalanmış kişilerde görülebilir. Bu hastalar, AIDS olmayan insanların çok nadiren yakalandığı birçok hastalığa yakalanmaya yatkındırlar. Örneğin, AIDS'in en temel komplikasyonu, neredeyse çevremizdeki her yerde bulunan bir mikrobun neden olduğu bir akciğer hastalığı olan *Pneumocystis carinii* zatürreesidir. Bu hastalığın mikrobuyla hepimiz her gün karşılaşır, nefes alırken akciğerimize çekeriz, ama çok küçük yaşta *Pneumocystis carinii* zatürreesine karşı bağışıklık kazandığımız için bu mikrop bize hiçbir zarar vermez. Bağışıklık sistemimiz, her karşılaşmasında bu mikrobu alt eder. Ama AIDS hastalarında, AIDS virüsü bağışıklık sistemlerinin T hücrelerini hasara uğrattığı için savunma sistemi bozuktur. T hücreleri *Pneumocystis carinii* zatürreesine neden olan mikrop da dahil bütün yabancı mikroplara karşı yapılan savunmanın önemli bir parçası olduğu için AIDS hastalarının bağışıklığı kalmaz. Sonuçta *Pneumocystis carinii* zatürreesinin mikrobu bu kişilerde kolayca yayılır. AIDS hastaları, neredeyse her gün karşılaştığımız ve hepimiz onlara karşı küçük yaşta bağışıklık geliştirdiğimiz için normalde zararsız olan mikropların yol açtığı başka bazı hastalıklara da yatkındır. Bu tip enfeksiyonlara **fırsatçı enfeksiyonlar** denir.

Bağışıklık sistemi bizi günlük hayatımızda karşılaştığımız normalde zararsız mikroplardan korumak dışında, bize zarar veren birçok bulaşıcı organizmayla savaşır ve iyileşmemizi sağ-

lar. Gelecekte bazı hastalıklara yakalanmamak için o hastalıklara karşı aşı olmamıza olanak veren de bağışıklık sistemidir. Bağışıklık sistemi başka birçok sebepten ötürü de önemlidir. Bulaşıcı olan veya olmayan hastalıkların tedavisi ve önlenmesi ve ayrıca nakledilen organların hastalarda tutunmasını sağlamak için bağışıklık sisteminin karmaşık mekanizmalarını bilmek gereklidir. Organ reddi, kişinin bağışıklık sisteminin o kişinin organlarıyla başkasına ait organlar arasındaki farkı "bilmesinden" doğar.

AIDS hastalarında işlevini yitiren T hücresi gibi hücreler bağışıklık sisteminin bir unsurudur. Sistemin diğer bir parçası, **antikor** denen proteinler de dahil, hücresel olmayan maddelerdir. Antikorlar özellikle yabancı maddeleri, örneğin bakterileri ve proteinleri tanıyan ve onlara bağlanan çok yönlü moleküllerdir. Genellikle her antikor, yabancı bir maddenin yalnızca tek bir molekülüne (veya molekülün bir bölümüne) bağlanır ve farklı bir maddeye bağlanmaz. Örneğin belirli bir proteine bağlanan antikorlar ikinci bir farklı proteine bağlanamaz, ama bu ikinci proteine bağlanıp öncekine bağlanamayan antikorlar da olabilir. Dahası, belirli bir proteinin bir bölümüne bağlanan antikorlar, genellikle bu proteinin başka bir yerine bağlanmaz. Bir başka deyişle antikorlar son derece uzmanlaşmıştır. Antikorun bağlandığı maddeye (bu madde bir protein veya başka tip bir molekül de olabilir) **antijen** denir. Genelleyerek söylersek, her antikor sadece bir antiyen türünü, hatta belirli bir antijenin sadece bir bölümünü (**antijen belirleyicisi**ni) tanır ve ona bağlanır.

Yabancı organizmalar veya başka yabancı maddeler vücudumuzdan içeri girdiği zaman onlara karşı antikor üretiriz. Bu antikorlar kanımızda bulunur ve basit biyokimyasal teknikler kullanılarak kolaylıkla belirlenebilir. Antikorların antijenlere bağlanması vücudumuzda yabancı maddeyi etkisiz hale getirecek ve sonunda yok edecek bir süreç başlatır. Bir bakteriye karşı antikor üretiyorsak, damarlarımızda bu bakteriye karşı birçok farklı antikor dolaşıyor olabilir. Üretilen antikorların bazıları

bakterideki belirli bir antijene karşı olurken, diğer antikorlar farklı antijenlere karşı olur ve birçok antikor bir bakterinin tek bir antijeninin değişik antijen belirleyicilerini tanıyabilir. Hatta, tıpkı aynı ayağa farklı ayakkabıların uyabileceği gibi, aynı antijen belirleyicisine bağlanan farklı antikorlar da bulunabilir, ama bazıları daha iyi uyar. Belirli bir bakteriyle hayatımızda daha önce hiç karşılaşmamış olsak bile, özellikle onun antijenlerini tanıyan pek çok antikor üretiriz. İşin daha da ilginci, özellikle insan yapımı maddelere, örneğin doğal olmayan ve normal şartlarda bir insanın veya hayvanın içine girme olasılığı bulunmayan küçük yapay moleküllere bağlanan antikorlar da üretilebilir. Bu kimyasal antijenleri tanıyan ve bilinen başka herhangi bir maddeyi tanımayacak olan antikorlar deney hayvanlarında kolaylıkla üretilebilir.

Tek bir insanın antikorlarının tanıyabileceği farklı antijen sayısının bir milyondan bir hayli fazla, hatta on milyonlarca olabileceği tahmin ediliyor. Başka bir deyişle bağışıklık sistemimiz, her biri kendine özgü antijeni tanıyan milyonlarca farklı antikor üretebilecek yeteneğe sahip. Bu nasıl olabilir? Hangi harika düzenek, bir insanın sadece milyonlarca maddenin yabancı olduğunun farkına varmakla kalmayıp, bu maddelerin her birini birbirinden ayırt edebilmesini sağlayan bu muazzam beceriyi ve hassaslığı açıklar? Bu bir insanın bir milyondan fazla kişiyi tanıması ve her birinin arasındaki farkı söyleyebilmesi kadar inanılmazdır.

İnsanların yabancı maddelere karşı verdiği antikor tepkisinin karmaşıklığına açıklama getirme çalışmaları, biraz da tesadüfen, 1975 yılında bir monoklonal antikor üretme yönteminin bulunmasına yol açtı. Bu buluşu yapan iki bilim adamı İngiltere'deki Cambridge Üniversitesi'nde çalışan Georges Kohler (doğ. 1946) ile Cesar Milstein'dı (doğ. 1927). Bu önemli çalışmalarıyla, 1984 yılında Fizyoloji ya da Tıp dalında verilen Nobel Ödülü'nü kazandılar. Kohler daha Milstein'ın laboratuvarına katılmadan önce, Milstein antikor üretimiyle ilgili çalışmala-

rını sürdürüyordu. Milstein Yahudi bir göçmenin oğlu olarak Arjantin'de doğmuş ve orada deneysel bilimler uzmanı olarak yetişmişti. 1958 yılında İngiltere'ye gitmiş, 1961'de Arjantin'e dönmüş ve son olarak 1963'te tekrar İngiltere'ye gitmişti. Cambridge Üniversitesi'ndeki çalışma arkadaşlarıyla birlikte, antikor çalışmalarının tarihinde çok eskilere dayanan ve neden bir insanın farklı antijen özgüllükleri olan milyonlarca antikor üretebildiğini anlamaya çalışan ve dünyada giderek sayıları artan bilim adamlarının öncüleri oldular.

Antikorların Tarihi

Antikor çeşitliliği üzerine çalışmaların tarihi büyük oranda Jenner ve Pasteur'ün aşı geliştirme çalışmalarıyla başlamıştır (XII. Bölüm). On dokuzuncu yüzyılın sonuna gelindiğinde hem hayvanların kendilerini yabancı mikroplara karşı savunma yeteneğine sahip oldukları, hem de hastalık yapan mikropların ölü olan veya etken olmayan biçimlerinin hayvanlara şırınga edilmesiyle pek çok mikrobik hastalığa karşı yapay olarak bağışıklık sağlanabileceği anlaşılmıştı. Pasteur'ün ilk aşıyı geliştirmesiyle, pek çok bilim adamı çeşitli hastalıklara karşı bağışıklık düzeneklerini daha ciddi olarak araştırmaya başladı.

Bağışıklıkla ilgili önemli bir gelişme 1890 yılında Alman bakteriyolog Emil von Behring (1854-1917) ve Japon bakteriyolog Kitasato Şibasaburo'nun (1852-1931) tetanosa karşı bağışıklığın kanda belirli maddelerin varlığına bağlı olduğunu ortaya koymalarıyla oldu. Tetanos bakterisinin, hastalığın birçok belirtisine neden olan zehirli bir madde ürettiği ve bu bakterilerin içinde geliştirildiği kültür sıvısından bu zehrin elde edilebileceği biliniyordu. Von Behring ve Şibasaburo tavşanlara tetanos zehrinden öldürücü olmayacak miktarda şırınga ederek bunun tavşanlarda bağışıklığa neden olduğunu buldular: Bağışıklık kazandırılmamış tavşanları öldüren canlı tetanos mikropları bu tavşanları öldürmedi. Von Behring ve Şibasaburo bu şekilde bağışıklık kazandırılan tavşanlardan alınan kanın kan hücrele-

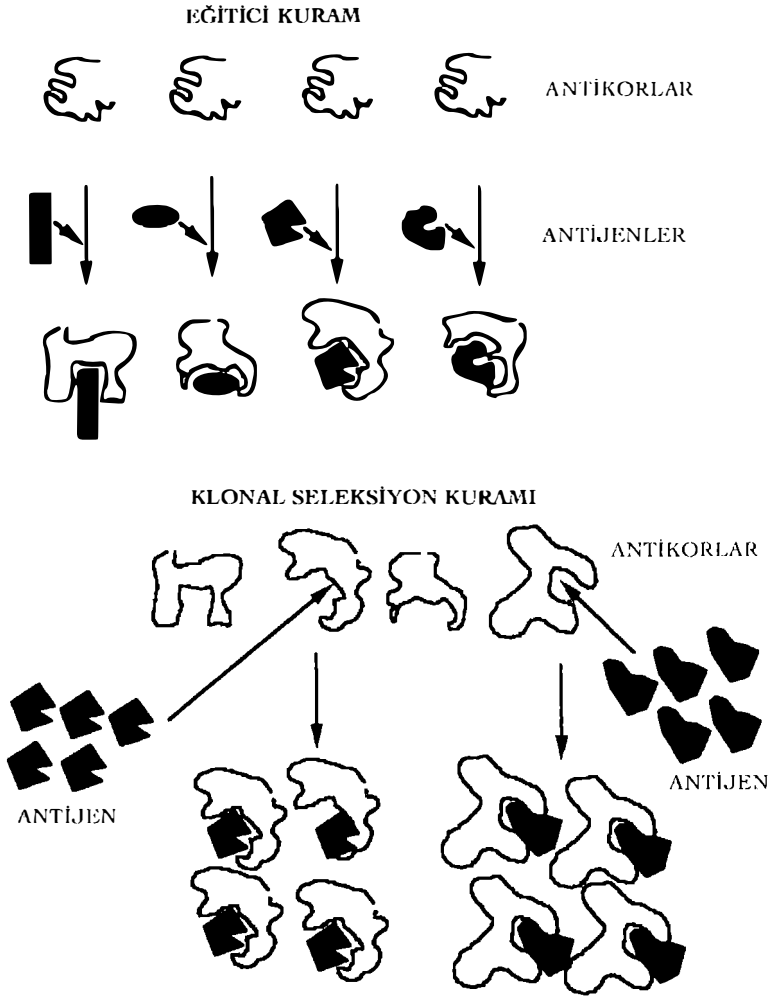
rini ayırarak **serum** dediğimiz, kanın hücresel olmayan bölümünü elde ettiler. Farelere önce bu serum ardından da bulaşıcı tetanos mikrobu şırınga edildi. Farelerde tetanos görülmedi: Bağışıklık kazandırılmış tavşanların serumundaki **antitoksin** denilen bir şey, fareleri (ve bağışıklık kazandırılmış tavşanları) tetanos zehrinden koruyordu. Bu büyük buluş, bağışıklık kazandırılmış hayvanlardan alınan serumun hastalık bulaşmış insanlara aktarıldığı **serum tedavisi**nin yolunu açtı; verilen serumdaki antitoksin hastalığın yayılmasına karşı süreli bir koruma sağlıyordu. Daha sonra von Behring serum tedavisini on dokuzuncu yüzyıl sonlarında en öldürücü çocuk hastalıklarından biri olan difteriye uyguladı. Difteri bakterisi tarafından üretilen zehire karşı bağışıklık kazandırılmış atlardan sağlanan serumun çocukları difteriden belli bir süre için korumada ve difteriye yakalanmış çocukların tedavisinde de etkili olduğu ispatlandı. 1894'ten beri bu difteri panzehiri piyasada satılmaktadır ve insan hastalıklarının tedavisinde büyük bir aşama olarak değerlendirilmektedir.

Bu antitoksinlerin, tetanos ve difteri mikrobunun zehirlerine bağlanarak onları etkisiz hale getiren antikorlar olduğunu artık biliyoruz. 1895'te serumun içindeki antikorlar farklı bir yolla belirlendi. Belçikalı bilim adamı Jules Bordet (1870-1961) başka bir hayvan türünden alınan serumla hastalık mikrobu verilen bir hayvanın kanındaki alyuvarların kümelendiklerini keşfetti. Bir türün serumunda bulunan bir şey, diğer türün kırmızı hücrelerinin kümelenmesine neden oluyordu. Beş yıl sonra Avusturyalı immünolog Karl Landsteiner (1868-1943) bir insandan alınan serumun başka bir insanda kırmızı kan hücrelerinin kümelenmesine neden olabileceğini gösterdi. Landsteiner, kırmızı hücrelerin kümelenme biçimlerine göre insan kanının üç değişik ana türe ayrılabileceğini gördü. Bunlara A, B ve O türleri dedi. Dördüncü tür (AB) daha sonra eklenmiştir. Landsteiner kan gruplarını bulmuştu; artık kan grupları belirlenebildiği için, bir insana kan verileceği zaman bu kanın uy-

gun bir kan grubuna sahip bir kişiden alınması mümkündü. Kırmızı kan hücrelerinin kümelenmesine neden olan serum faktörlerine **aglütinin** denmiştir; artık bunların antikor olduğunu biliyoruz.

Büyük Alman bilim adamı Paul Ehrlich (1854-1915) yirminci yüzyılın başlarında bağışıklık düşüncesini derinden etkilemiştir. Antikorların çeşitliliği ve özgüllükleri hakkındaki kuramları bu alana damgasını vurmuştur. Ehrlich antikorların antijenlerine özgü oluşlarını kilitle anahtara benzetmiştir. Antikorlar (anahtarlar) değişik şekillerdedir ve her antikor sadece bir antijene (kilide) uyar. Ehrlich antikor çeşitliliğine **yan zincir kuramı** adını verdiği bir açıklama getirmiştir. Ona göre, vücuttaki antikor üreten her hücrenin yüzeyinde farklı antijenleri tanıyan birtakım antikor molekülleri vardı. Bu antikorlar vücut antijenle karşılaşmadan önce de vücuttadır. Antijen vücuda girdiği zaman antikor üreten hücrenin yüzeyindeki özgül antikoruna bağlanır, bu da hücrenin o antikordan daha fazla üretmesine yol açar. Başka bir deyişle, antikor üreten hücreler birden fazla antijen türüne karşı antikor üretebilir ve bu antijen türlerinden biriyle karşılaşmak o antijene özgü antikorlardan bol miktarda üretilmesine yol açar. Bu olağanüstü düşünce Ehrlich'in dehasını gösterir, çünkü gerçeğe çok yakındır ve antikorlar hakkında çok az şeyin bilindiği bir zamanda öne sürülmüştür. Artık belirli antijenlere tutunan antikorların, Ehrlich'in düşündüğü gibi, bir insan antijenle karşılaşmadan önce de vücutta bulunduğunu, ama her antikor üreten bağışıklık hücresinin birkaç değil sadece bir antijen için antikor ürettiğini biliyoruz.

Ehrlich'in kuramı sonunda yerini antikor çeşitliliğini açıklamak üzere ileri sürülen iki kurama bıraktı: Bunlar **eğitici kuram** ve **klonal seleksiyon kuramı**dır (Şekil 32). Eğitici kuram (birer protein olan) bütün antikor moleküllerinin aynı olduğunu, yani aynı aminoasit dizisine sahip olduğunu (XVII. Bölüm), ama antijenleri milyonlarca farklı şekilde sarmalayabileceklerini öne sürüyordu. Bu kurama göre antijen bir antikorla karşıla-

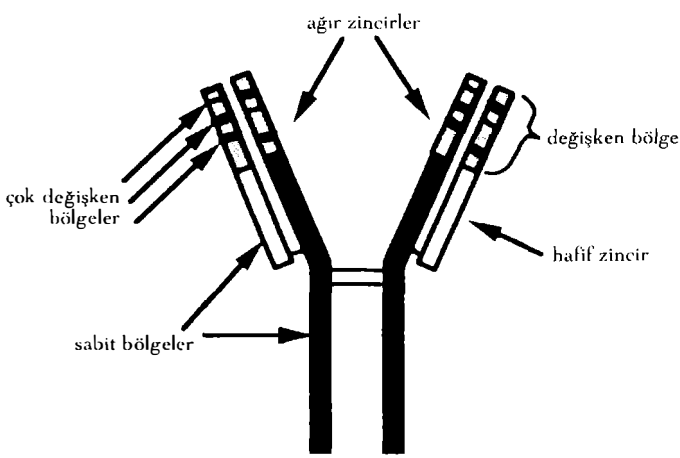


Şekil 32. Antikor üretim kuramları. Eğitici kuram, bütün antikor moleküllerinin aynı olduğunu ve antijenlerle (siyah olarak gösterilenler) temasa geçtiklerinde onlara göre şekil aldıklarını savunur. Klonal seleksiyon kuramı, antikorların daha antijenlerle temasa geçmeden zaten birbirlerinden farklı olduklarını ve antijenlerin bağlanabilecekleri antikorları seçtiklerini belirtir: Bu da seçilen tipteki antikor moleküllerinden daha fazla üretilmesine neden olur.

şınca, antikor antijeni sarmalar ve ona iyice uyar: Bu, aynı o şekli almış daha fazla antikorun üretimini başlatır. Bu kurama göre, belirli bir antijene göre şekil almış antikor, o şekli almamış

antikor antijenle karşılaşmadan önce vücutta bulunmaz. Diğer yandan klonal seleksiyon kuramı bağışıklık sisteminin, ayrı ayrı antijen bağlanma özellikleri olan milyonlarca farklı antikor üreten hücrelere sahip olduğunu belirtir: Her hücre tek bir özgüllüğü olan tek bir antikor üretir, dolayısıyla antikor üreten milyonlarca farklı hücre vardır. Klonal seleksiyon kuramında, antijen vücuda girdiği zaman, bu hücrelerin yüzeyindeki antijene iyi uyan antikorlara bağlanır. Bu da o antikordan ya da o antikoru üreten hücrelerden daha fazla üretilmesine neden olur. Klonal seleksiyon kuramına göre belirli antijenlerin antikorları, vücut antijenlerle karşılaşmadan önce de zaten vardır.

1960'larda İngiliz biyokimyacı Rodney Porter (1917-1985) ve Amerikalı biyokimyacı Gerald Edelman (doğ. 1929) antikorların moleküler yapısının Y şeklinde olduğunu ortaya çıkardılar (Şekil 33). Porter'la Edelman bağışıklık sistemini anlama yolunda büyük bir adım olan çalışmalarıyla 1972 Nobel Fizyoloji ya da Tıp Ödülü'nü aldılar. Y şeklindeki antikor molekülü, bir antikordan diğerine özdeş bölgelerden oluşur. Bu **sabit bölgeler**, antikorun tanıdığı özel antijen ne olursa olsun aynı olur.



Şekil 33. Antikorlar ikisi ağır ikisi hafif dört zincirden oluşan Y şekilli moleküllerdir. Her zincirin bir değişken, bir de sabit bölgesi vardır. Değişken bölgeler her antikora kendine özgü antijen bağlanma özelliklerini verir. Değişken bölgelerin ayrıca, özellikle antijen bağlanma özgüllüğü açısından önemli olan, çok değişken kesimleri de vardır.

Molekülün diğer bölümleri bir antikordan diğerine değişir; bu **değişken bölgeler** antikor molekülünün özgül antijenine bağlandığı bölgelerdir. Bu demektir ki antikorlar pek çok ortak özellikleri olan, ama tanıyacakları antijeni belirleyen özel bölgeleri açısından farklılık gösteren Y şeklinde moleküllerdir. Farklı antijenlere bağlanan antikorların tamamen aynı olmadığı (aminoasit dizilerinin farklı olduğu) gerçeği, antikorların aynı aminoasit dizisine sahip olduğunu söyleyen eğitici kuramla çeliştiği için, klonal seleksiyon kuramı antikor çeşitliliğini açıklayan kuram olarak kabul görmüştür.

Klonal seleksiyon kuramı kabul edilince, bir insanın DNA ansiklopedisinin yani genomunun (XVII. Bölüm), milyonlarca farklı antikorun varlığını açıklamak için gereken pek çok farklı protein molekülünü nasıl şifreleyebildiğini açıklamak kaçınılmaz olmuştu. Eğer antikorlar kendilerine karşılık gelen antijenlerle karşılaşmadan önce de vücutta bulunuyorlarsa, bu her antikor protein molekülünün DNA ansiklopedisindeki kendi geni tarafından şifrelendiği anlamına mı geliyordu. Böyle olması için, sadece antikorları kodlayan milyonlarca gen olması gerekirdi, bu da bir insanın ya da hayvanın genomunda en bol bulunan genin antikor geni olacağı anlamına gelirdi. Pek çok bilim adamı, bir insanın ya da herhangi bir hayvanın DNA ansiklopedisinde milyonlarca, belki de on milyonlarca birbirinden farklı antikor molekülü içerecek kadar bilgi olmadığını düşündü.

İki kuram ortaya atıldı. Birincisine göre, milyonlarca farklı antikor DNA ansiklopedisi tarafından kodlanıyordu, başka bir deyişle genomda milyonlarca antikor geni *vardı* ve bunlar anababadan sonraki kuşaklara diğer protein genlerinin aktarıldığı gibi aktarılıyordu. İkinci kurama göreyse, DNA ansiklopedisinde antikorları kodlayan az sayıda gen vardı ve antikor çeşitliliği, antikor üreten ve **B hücreleri** denilen bağışıklık hücrelerinde meydana gelen özel biyokimyasal süreçlerle sağlanıyordu. Dolayısıyla her B hücresi, belirli bir antijeni tanıyan tek bir tipte antikor üretecek ve her antikorun aminoasit dizisi onu üreten

özel B hücresinin DNA'sı tarafından kodlanacaktı. Bu durumda, belirli bir B hücresi tarafından üretilen antikorun DNA dizisi, o hücre içinde özel olarak değiştirilmiş oluyordu. Başka B hücrelerinde antikor geni farklı bir şekilde değiştirilerek, farklı antijen özgüllüklerine sahip antikorlar üretiliyordu. Vücuttaki B tipi olmayan, örneğin karaciğer ve beyin hücreleri gibi antikor üretmeyen hücrelerdeyse, o dokunun bütün hücrelerinde aynı olan, az sayıda antikor hücresi bulunuyordu. Antikor geni çeşitliliğini yaratan sürecin, antikor üreten B hücrelerine özgü olduğu düşünülüyordu.

Antikorları kodlayan genler hakkındaki her iki düşüncenin de kendi içinde bazı gerçekleri barındırdığı ortaya çıktı. DNA ansiklopedisinde antikorları şifreleyen az sayıda değil, elli ile birkaç yüz arasında değişik gen vardır. Bunlar antikor çeşitliliği yaratmak üzere B hücrelerinde değişik şekillerde bir araya gelebilirler. Antikor çeşitliliğini yaratan bir başka aşama da B hücrelerinin içindeki bu genlerde meydana gelen daha küçük değişikliklerle ortaya çıkar. Antikorları kodlayan genlerin sayısı ve genlerin B hücreleri içinde değişme mekanizmaları, milyonlarca farklı antikor molekülünün üretilebilmesini açıklamaktadır.

Antikor çeşitliliğinin oluşma mekanizmasını açıklamayı, antikor moleküllerinin neye benzediğini ve nasıl çalıştıklarını anlamayı amaçlayan araştırmaları sırasında Kohler'le Milstein olağanüstü bir buluş yaptılar ve bir monoklonal antikor yapma yöntemi buldular.

Monoklonal Antikor Teknolojisi

Antikor üretiminin klonal seleksiyon kuramına göre, tek bir B hücresi tarafından üretilen bütün antikor molekülleri özdeştir ve tek bir antijeni (daha doğrusu antijen belirleyicisini) tanıyıp, ona bağlanırlar. Bu tip antikorlara **monoklonal antikor** denir. **Poliklonal antikor** ise farklı antijen belirleyicilerini tanıyan antikor moleküllerinin bir karışımıdır (Aynı antijen belirleyici-

sini tanıyan farklı antikorlar da içerebilir). Bir hayvana iğneyle antijen verilirse, bu antijene karşılık kimi antijen molekülünün aynı bölgesine (antijen belirleyicisine), kimi farklı bölgelere bağlanan pek çok farklı antikor üretilir. Dolayısıyla böyle bir hayvandan alınan serum aynı antijene karşı bir antikor karışımı içerecek, yani poliklonal bir antiserum olacaktır.

Poliklonal antikorlardan değişik yollarla faydalanılabilir, ama farklı antikor moleküllerinin karışımı oldukları için antikorlar üzerine çalışma yapan biyokimyacılar için bazı sorunlar yaratırlar. Poliklonal antikorlarla, tek bir tür antikor molekülünü diğer antikor moleküllerinden ayırıp incelemek imkânsızdır. İdeal olarak, birçok farklı bağışıklık hücresi tarafından üretilen bir antikor karışımı yerine, tek bir bağışıklık hücresi tarafından üretilen bir antikoru (yani monoklonal antikor) incelemek gerekir. 1975'ten önce monoklonal antikorların tek ana kaynağı **miyeloma hücreleri**ydi. Miyelomalar bağışıklık sistemindeki B hücrelerinin kanserli olanlarıdır. Kanser oluşumunun hemen her zaman, çoğalma denetim mekanizmaları altüst olmuş *tek* bir normal hücreden kaynaklandığı bilinmektedir. Dolayısıyla B hücresi kanseri de tek bir antikor üreten hücreden türeyen hücrelerden oluşur. Her antikor üreten hücre hepsi aynı antijen özgüllüğüne sahip, birbiriyle özdeş antikor molekülleri yaptığına göre, miyeloma hücresi tarafından üretilen antikor da monoklonal antikordur. Miyelomalar hızla çoğalan kanserlerdir ve geri kalan (normal) antikor üreten hücrelerden yalıtılarak bir deney tüpü içerisinde çoğaltılabilirler. Miyelomalar antikor moleküllerinin temel yapısını ve özelliklerini anlamayı amaçlayan çalışmalar için bu açıdan değerliydi. Fakat tüm kanserler gibi, miyelomalar da normal bir B hücresi popülasyonu içinden tesadüfi olarak çıktığı için, vücuttaki milyonlarca antikor üreten hücreden herhangi bir tanesi miyelomaya dönüşebilir. Dolayısıyla miyelomalar tarafından üretilen monoklonal antikorlar bilinen herhangi bir antijen özgüllüğü taşımama eğilimindedir: Tanıyacakları özgül antijenleri belirleme şansı çok zayıftır ve özgüllük-

lerinin belirlenebilmesi için yüz binlerce farklı antijenin taranması gerekir. Bunu gerçekleştirmek de olanaksızdır.

Bilinen antijenler için istenildiğinde büyük miktarda monoklonal antikor üretecek bir yöntem bulmak gerekiyordu. Antikorların özgül antijenlerine nasıl bağlandıklarını inceleyen ayrıntılı çalışmaların yapılması buna bağlıydı; bu yöntemle poliklonal antikor preparatlarındaki antikor karışımlarının neden olduğu olumsuzluklar ortadan kaldırılabilecekti. Ne yazık ki B hücrelerinin vücut dışında çoğalması çok zordur; vücut ortamından yalıtıldıklarında da kolaylıkla çoğalabilen miyeloma hücrelerinin aksine, kültür sıvılarına nakledildiklerinde genellikle ölürler. Ama Kohler'le Milstein tesadüfen bu sorunu çözmenin ve B hücrelerini deney tüplerinde çoğaltmanın ve tanımlı antijenlere karşı monoklonal antikor üretmelerini sağlamanın bir yolunu buldular.

Kohler 1984'te Almanya'daki Freibourg Üniversitesi'nden doktora derecesini almasının hemen ardından doktora sonrası araştırmasını yapmak üzere Milstein'ın Cambridge Üniversitesi'ndeki araştırma grubuna katıldı. Milstein'ın ekibi yıllardır B hücrelerinin antikor çeşitliliği sağlama mekanizmalarını inceliyordu. Kohler'in çalışmalara katıldığı dönemde kullandıkları yaklaşımlardan biri, melez bir hücre elde etmek için farklı iki miyeloma hücresini birleştirmekti. Bu melez hücreler, birleşmemiş ebeveyn miyeloma hücreleri gibi, uygun besi ortamı sağlanırsa deney tüpleri içinde gelişebiliyordu. İki miyeloma hücresi birleştirildiğinde ortaya çıkan melez hücrelerin, her iki ebeveyn miyeloma hücresinin özgül antikorlarını üretebildikleri görüldü. Milstein ve çalışma arkadaşları melez miyeloma hücreleri üzerinde yaptıkları bu araştırmalardan, B hücrelerindeki antikor çeşitliliği mekanizmalarına dair daha çok bilgi edindiler.

Kohler miyeloma hücreleri tarafından üretilen antikorlar ve farklı iki miyeloma hücresinden elde edilen melezler üzerinde çalışmaya başladı. Fakat Milstein'la birlikte, bilinen bir antijene karşı antikor üreten bir miyeloma elde edebilirlerse bu çalışma-

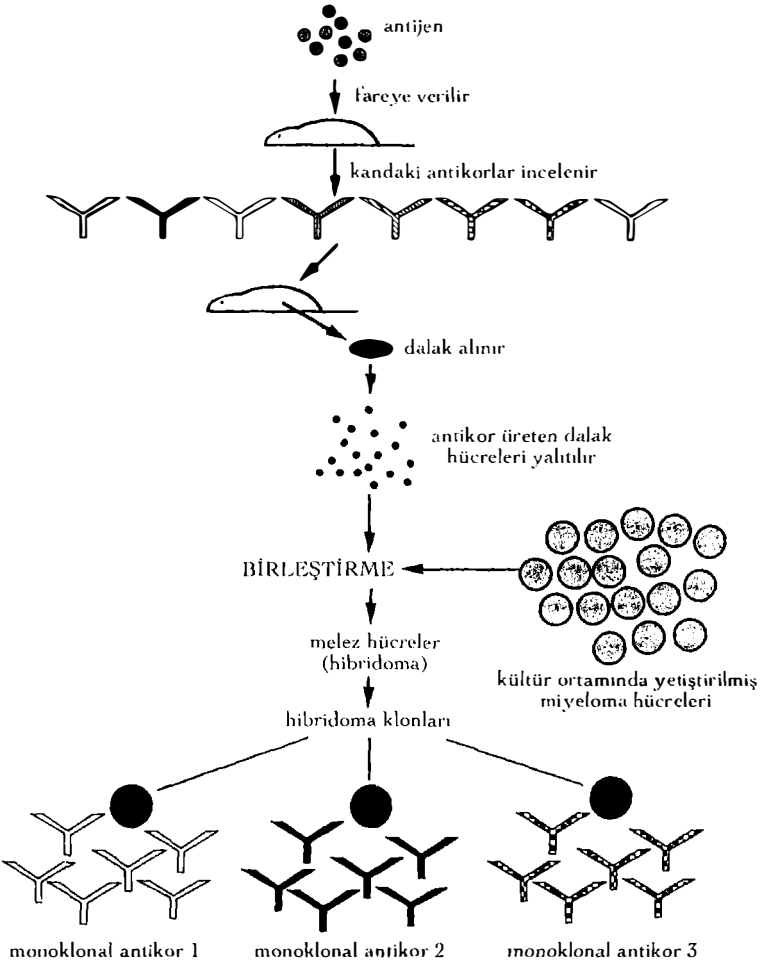
ların çok daha öğretici olacağını fark ettiler. Ne yazık ki, o zaman incelenen neredeyse bütün miyelomaların ürettiği antikorların tanıdığı antijenlerin hiçbiri tanımlı değildi; bunlar bilinen antijen tanımları olmayan monoklonal antikorlardı. Şans eseri antijenleri bulunmuş birkaç miyeloma vardı, ama laboratuvar koşullarında yeterince çoğaltılamadıkları için Kohler'le Milstein bunlardan yararlanamamıştı.

Bu sorunlara karşın, iki bilim adamı çalışmalarını sürdürdü. Düşündükleri bir diğer yaklaşım da, birçok antijeni miyeloma kökenli bazı monoklonal antikorlarla eleyerek incelemek, yani samanlıkta iğne arar gibi, bu antikorların tanıdığı belirli antijenleri bulup bulamayacaklarını belirlemeye çalışmaktı. Söz konusu antijenleri bulma şansları olması için yüz binlerce antijenin taranması gerekecek, bu da çok zor bir çalışma olacaktı. Kohler'le Milstein'ın düşüncesi basitti: Belirli bir antijenle bağışıklanmış bir hayvandan alınan B hücreleri miyeloma hücreleriyle birleştirilecekti. Bu melez hücreleri elde edebilir ve kültür ortamında üretebilirlerse, sadece ebeveyn miyeloma hücresinin (belirli olmayan bir antijene karşı) monoklonal antikorunu değil, aynı zamanda ebeveyn B hücresinden (belirli bir antijene karşı) monoklonal antikor da üretebileceklerini düşündüler. Başka bir deyişle, bir hayvana bir antijen verilirse, hayvan o antijene karşı antikorlar üretecektir. Eğer bu hayvanın B hücreleri ve miyeloma hücreleriyle melezler üretilebilirse, o zaman bu melezlerden bazılarının verilen antijene karşı antikor üretmesi ve verilen antijeni tanıma yetenekleriyle ayırt edilebilmeleri gerekir. B hücreleri bir canlı dışında çoğalamaz, ama miyeloma hücreleriyle birleştirilince deney tüplerinde çoğalabilirler.

Kuramsal değerlendirmeler, Kohler'le Milstein'ın önerdiği yöntem kullanılarak B hücresi ve miyeloma melezlerinden özgül monoklonal antikorlar elde etme şansının çok zayıf olduğunu ve bu işin çok zaman alacağını gösteriyordu. Fakat Milstein'la Kohler kendi kuramsal değerlendirmelerinin bütünüyle doğru olmayabileceği ihtimaline karşı yine de çalışmalarına de-

vam etmeye karar verdiler. Azimlerinin ödülünü de aldılar. Belirli bir antijen verilmiş bir farenin dalağından alınan B hücreleri miyeloma hücreleriyle birleştirilince, yalnızca B hücresi ve miyeloma melez hücreleri deney tüpünde başarıyla yetişmekle kalmadı, aynı zamanda melez hücrelerden bazılarının farcye verilmiş antijene özgü antikorlar ürettiği de keşfedildi. Daha sonraki gelişmeler **hibridoma** adı verilen B hücresi-miyeloma melezlerinin kolaylıkla elde edilmesini sağladı. Artık her antijen için antikor üreten hibridomalar elde edilebilmektedir. Kohler ve Milstein böylece çok ihtiyaç duyulan, belli bir antijene karşı monoklonal antikor üretme yöntemi geliştirmiş oldular.

Bu monoklonal antikor üretme yönteminin ana hatları Şekil 34'te gösterilmiştir. Kendisine karşı monoklonal antikor elde edilmesi gereken antijen bir hayvana verilir. Hayvan bu antijene karşı antikorlar üretir. Bu antikorlar da o hayvanın serumunda görülür. Hayvan, antijene karşı yeterince yüksek seviyede serum antikoru (poliklonal) üretmeye başlayınca, hayvanın dalağı alınır ve zengin bir antikor üreten B hücresi kaynağı olan dalak hücreleri (deney tüpünde üretilmiş) miyeloma hücreleriyle birleştirilir. Dalaktan alınan ebeveyn B hücreleri yaşamaz, çünkü kültür ortamında gelişemezler. Birleşmeyen ebeveyn miyeloma hücrelerini seçip öldürmek için de özel ilaçlar kullanılır. Böylelikle sadece B hücresi-miyeloma hücresi melezleri (hibridomalar) yaşar. Günümüzde kullanılmakta olan miyelomalar kendi antikorlarını üretmezler, bu yüzden de ortaya çıkan hibridomalar sadece dalaktan alınan B hücresinin yaptığı belirli antikoru üretir. Hibridomalar birbirinden ayırılarak özel kültür ortamlarında gelişip çoğalmaları sağlanır. Bu şekilde hibridomaların birçok **klonu** üretilir. Her klon, tek bir özgün hibridoma hücresinden türeyen özdeş hücrelerden oluşur. Daha sonra hibridoma klonları önceden verilen antijenleri tanıyan antikorlar üretme yeteneği açısından incelenir. Böyle antikor üreten klonların kaynağı, antijen verilmiş hayvanın tek bir B hücresidir; tanımlanmış antijene karşı monoklonal antikorlar üretirler. Hibridomanın özgül antikor



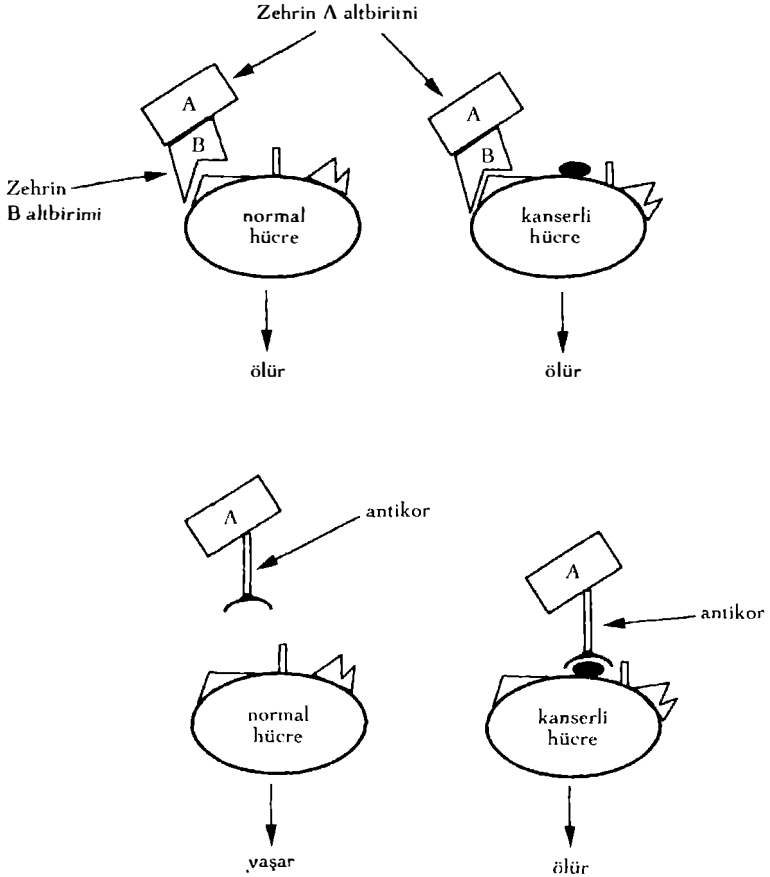
Şekil 34. Monoklonal antikor üretme yöntemi. Bağışıklık kazandırılmış fareden alınan dalak hücreleri miyeloma hücreleriyle birleştirilir ve elde edilen hibridomalar klonlanır. Her hibridoma (siyah daireyle gösterilenler) tek ve kendine özgü bir monoklonal antikor salgılar. Antikorlar Y şeklinde gösterilmiştir.

üretme özelliği dalak hücresinden, bir insanın veya hayvanın vücudundan yalıtıldıktan sonra kültür ortamında sonsuza kadar yaşama ve çoğalma özelliği ise miyeloma hücresinden gelir.

Gerektiğinde, belirli bir antijene karşı monoklonal antikorlar üreten hibridomalar, deney tüplerinin içinde özel kültür orta-

mında sonsuza kadar üretilebilir. Ayrıca dondurulup yıllarca saklandıktan sonra çözdürülüp canlandırılabilir ve antikor üretmeye devam etmeleri sağlanabilir. Bu monoklonal antikorların sınırsız sayıda üretilebileceği ve bu sayede standartlaştırılmış olarak sürekli kullanılabilecekleri anlamına gelir. Poliklonal antiserum pek çok farklı antikor içermesinin yanı sıra, bir hayvanın kanından elde edildiği ve hayvan öldüğü zaman poliklonal antikor kaynağı tükenmiş olacağı için, sınırsız miktarda elde edilemez. Başka bir hayvana iğneyle aynı antijeni vererek tam olarak aynı poliklonal antiserumu üretmek çok zordur. Bu da poliklonal antikorların, monoklonal antikorlar kadar kolayca standartlaştırılamayacağı anlamına gelir.

Kohler'le Milstein buluşlarını yaptıktan sonra, monoklonal antikor teknolojisi birçok açıdan oldukça gelişti. Örneğin, iki monoklonal antikor bir araya getirilerek, bir değil iki antijen tanıyabilen bir antikor üretilebiliyor. Bu yöntemden monoklonal antikorları zehirlere bağlamak için de yararlanılıyor. Bazı zehirler, örneğin hintyağı bitkisinden elde edilen bir protein olan risin canlı hücreleri öldürmede çok etkilidir. Bazı tıbbi durumlarda risin kadar güçlü bir zehire sahip olmak arzu edilebilir. Örneğin kanserli hücreleri öldürmek için çok etkili bir toksin mükemmel olurdu. Ne var ki, risin kanserli hücreleri olduğu kadar normal hücreleri de öldürdüğü için kendi başına kanser ilacı olarak kullanılamaz. Risin molekülü iki farklı birimden oluşur. Bunlardan biri (B altbirimi) canlı hücrelere bağlanırken, diğeri (A altbirimi) hücrenin içine girerek onu öldürür. A altbirimi olmadan B altbirimi hücreye bağlanır, ama onlara hiçbir zarar vermez. B altbirimi olmadan A altbirimi hücreye bağlanamaz ve içine giremez. Yani risinin içindeki asıl öldürücü birim, kendi başına tamamen zararsız olan A altbirimidir. Yine de A altbirimi canlı hücrelere bağlanan bir antikorla birleştiğinde, A altbirimi bu hücrelerin içine girerek, neredeyse risinin B altbirimiyle birleşik haldeki bir A altbirimi kadar güçlü bir şekilde onları öldürecektir. Başka bir deyişle, risinin B altbiriminin yerini bir



Şekil 35. Monoklonal antikorların zehirli maddelerle birleştirilmesiyle elde edilen "sihirli mermiler". Bazı zehirli proteinler iki altbirimden oluşur: A altbirimi ve B altbirimi (üstte). B altbirimi hücreye bağlanırken A altbirimi içeri girer ve onları öldürür. Bu zehirler normal şartlarda hem kanserli hücreleri hem de normal hücreleri öldürür. Özel olarak normal hücrelerin değil de, kanserli hücrelerin yüzeyindeki moleküllere bağlanan monoklonal bir antikor elde edilebilse, bu antikor da zehrin A altbirimiyle birleştirilse, bu antikor-zehir bileşimi kanserli hücrelere bağlanacak ve sadece onları öldürecektir.

antikor aldığında da, ortaya çıkan yeni antikor ve A altbirimi bileşimi etkili bir zehirdir. Ancak çoğu hücre tipine bağlanabilen risinin B altbiriminin tersine, sadece belirli bazı hücre türlerine bağlanabilen antikorlar yapılabilir; bu da antikorların A altbirimini belirli hücre tiplerine yönlendirip, onları öldürtebileceği

anlamına gelir. Kanserli hücre üzerindeki bir antijene bağlanan bir monoklonal antikor elde edilebilse ve bu antijen de normal hücrelerde bulunmuyor olsa, o zaman antikor ve A altbirimi bileşimi kanserli hücreleri öldürür ve normal hücrelere dokunmaz (Şekil 35). İstenen hücreleri dışarda bırakarak özel bazı canlı hücreleri yok edebilme olasılığı üzerinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalar sonucunda "sihirli mermiler", yani antikorun belirli kanserli hücrelerin (ya da başka hücrelerin) üzerinde antijen aradığı, zehrin de bu hücreleri öldürdüğü bir antikor-zehir bileşimi yapılabilir.

Hastalıklara tanı konmasında ve hamilelik testleri gibi bazı konularda monoklonal antikorlardan yararlanılabilir. Antijenler için özgüllüklerinin olması, uzun vadeli elde edilebilirlikleri, kolayca üretilip standartlaştırılabilir olmaları monoklonal antikorları hastalık tanısı için çok elverişli kılmaktadır. Bir hastalık veya fizyolojik bir durum, belirli bir antijenin düzeyindeki değişiklikle ilişkiliyse, bu antijene bağlanan monoklonal antikorlar değişen düzeylerin belirlenmesinde ve dolayısıyla tanıya yardımcı olmada kullanılabilir. Örneğin, hamilelik idrardaki koryonik gonadotropin hormonunun düzeyinin yükselmesine yol açar. Söz konusu hormona bağlanan antikoru içeren bir plastik çubuk idrara batırılırsa, hormon antikora yapışacaktır. Çubuktaki antikorun "yakaladığı" hormon antijenin miktarı, bu sürece renk elde edilen bir reaksiyon eklenerek belirlenebilir. Örneğin, piyasada satılmakta olan bazı ürünlerde çubuğun rengi maviye döner, bu da idrardaki koryonik gonadotropin düzeyinin yüksek olduğunu, yani hamile olunduğunu gösterir. Monoklonal antikorlar bu tür tanı amaçlı testlerin tekrarlanabilirliğini ve doğruluğunu artırmıştır.

Monoklonal antikorlar, biyomedikal araştırmalarda, tanı ve tedavide giderek daha fazla kullanılacak ve hiç şüphesiz pek çok yeni uygulama alanı ortaya çıkacaktır.

Dizin

Abraham, Edward, 206
Aglütinin, 265
Alpher, Ralph, 87
Aminoasit, 248
Ampère, André-Marie, 9
Antijen, 261
Antijen belirleyici, 261
Antikorlar, 259-277
Antiseptik ameliyat, 158-159
Arber, Werner, 234, 235
Aristoteles, 129
Armstrong, Neil, 17
Astenosfer, 121
Aşılar, 161-180
Atom, 60-61
Avery, Oswald, 218-230

B hücreleri, 268-273
Bakteriyofaj, 228, 232-238
Bassi, Agostino, 155
Becquerel, Henri, 37-41
Behring, Emil von, 263
Bell, Alexander Graham, 24
Benzen, 15, 98
Berzelius, Jons Jacob, 142, 146
Bethe Hans, 88
Bohr, Niels, 60-61
Bonaparte, Napoléon, 18
Bordet, Jules, 264
Bragg, Sir William Henry, 59
Broglie, Prens Louis de, 59
Brown hareketi, 56
Buckminster Fuller, Richard, 104
Buckminster fulleren, 97-108
Bulutsu, 85
Butirik asit mayası, 147
Büyük Göçme, 93
Büyük Patlama kuramı, 80, 81-95

C_{60} (bkz. buckminster fulleren)
C_{70}, 103-107
Chain, Ernst, 195, 202-209
Chase, Martha, 228-229
Crick, Francis, 216, 230

Crookes, William, 30
Crookes tüpü, 29-30
Curie, Marie, 37-38, 41-46
Curie, Pierre, 38, 41-46
Curl, Bob, 103-104

Çekirdek (Dünya), 112
Çiçek, 161-168
Çukurluklar, 118

Davy, Humphry, 7-8
DDT, 181
Deniz dibi yayılması varsayımı, 119
Depremler, 110-111, 123
Dezoksiribonükleik asit (DNA), 211-230, 231-243
Diazot monoksit, 131
Dicke, Robert, 89-90
Dinamo, 14
Diyamanyetizma, 15
DNA izi, 245-258
DNA metilazları, 237
Domagk, Gerhard, 194-195
Dönüşüm ilkesi, 222-227
Dünya, 109-125
Dünya Sağlık Örgütü (WHO), 161-162, 182

Edelman, Gerald, 267
Edinilmiş bağışıklık eksikliği sendromu (AIDS), 260
Ehrlich, Paul, 193-194, 265
Einstein, Albert, 49, 50-51, 56-61, 63-80, 82
Eksenel bilgisayar tomografisi (CAT), 28
Elektrik, 1-16
Elektrik motoru, 10
Elektrik pili, 5
Elektroliz yasaları, Faraday'ın, 15
Elektromanyetik dönme, 9
Elektromanyetik ışınım, 17-26, 49-61
Elektromanyetik indüksiyon, 6
Elektromanyetik tayf, 25
Elektromanyetizma, 1-16
Elektron mikroskobu, 60
Elektrostatik indüksiyon, 5
Elmas, 99-101
Esir, 63-72
Eşitlik ilkesi, 77
Evren, 81-95

Faj (bkz. bakteriyofaj)
Faraday, Michael, 1-16, 19, 29
Faraday Etkisi, 15
Fenotip, 248
Feynman, Richard, 20
Fil hastalığı, 184
FitzGerald, George, 70

Fleming, Alexander, 195-201
Flojiston, 129-136
Flojistonsuz hava, 132
Florey, Howard, 195, 202-209
Flüorışınım, 31, 38
Fosforışınım, 38
Fotoelektrik etki, 51-52, 56-59
Foton, 56
Franklin, Benjamin, 5
Franklin, Rosalind, 216
Friedmann, Alexander, 84
Fullerenler, 98

Galaksiler, 85-86
Galvani, Luigi, 5
Gamow, George, 87-88
Genel görelilik kuramı, 77-80, 82-84, 93-95
Genler, 211-230
Genom, 250
Gilbert, William, 4
Girişim, 50
Görelilik kuramı, 56, 61, 63-80, 82-84, 93-95
Grafît, 99-102
Griffith, Fred, 211, 217-220
Guericke, Otto von, 4-5
Güneş, 53, 69

Hallwachs, Wilhelm, 51
Hastalığın mikrop kuramı, 154-160
Hawking, Stephen, 94
Hayvansal elektrik, 5
Heatley, Norman, 202-209
Heezen, Bruce, 118
Helmont, Jan Baptista van, 148
Helyum, 87-88
Herman, Robert, 87
Herschel, William, 21
Hershey, Alfred, 228-230
Hertz, Heinrich, 17-18, 21-23, 51
Hess, Harry H., 119
Hibridoma, 273-277
Hidrojen, 87-88
Hippokrates, 182
Hubble, Edwin, 84-86
Huffman, Don, 102-105
Humason, Milton, 85-86, 88
Hunter, John, 166

Işığın hızı, 65-76
Işık, 20-21

İnek çiçeği, 165-168
İntronlar, 252
İpekböceği hastalıkları, 155-156
İyonosfer, 24-25

Jefferson, Thomas, 136, 161
Jeffreys, Alec, 245-258
Jenner, Edward, 161, 165-168
Jeodezik kubbe, 104
Joliot, Frederic, 46
Joliot-Curie, Irene, 46

Kara cisim ışınımı, 52-57
Kara cisimler, 52-57
Karanlık madde, 93
Karbon, moleküler biçimleri, 97-108
Karbon dioksit, 131
Karbon yıldızları, 100-102
Katalizör, 142
Katot ışınları, 29-31
Katot ışınlı tüp, 30
Kekule, Friedrich, 98
Kendiliğinden üreme, 140, 148-154
Kırılma bölgeleri, 118
Kırınım, 50
Kırmızıya kayma, 85
Kıta kayması, 109-125
Kızıl dev yıldızlar, 100-101
Kızılötesi ışınlar, 20-21
King, Albert, 184
Kirchhoff, Gustav, 53
Koch, Robert, 156-157
Kohler, Georges, 261, 269-275
Kozmik Fon Araştırma Uydusu (COBE), 92
Kozmik mikrodalga fon ışınımı, 89-90
Kratschmer, Wolfgang, 102-105
Kromozomlar, 215
Kroto, Harry, 102-108
Kuantum, 55, 60
Kuantum kuramı, 50, 55, 60-61, 94
Kuduz aşısı, 176-179
Kütle-enerji korunumu yasası, 75, 135
Kütleçekim dalgaları, 94

Landsteiner, Karl, 264
Laveran, Charles, 183-185
Lavoisier, Antoine, 128-136
Leeuwenhoek, Anton van, 140-141
Lemaitre, Georges, 84-85
Lenard, Phillipp, 51-52
Levha tektoniği kuramı, 109-125
Liebig, Justus von, 142, 146
Lister, Joseph, 158, 196
Litosfer (taşküre), 121
Lizozim, 196-197, 202
Lorentz, Hendrik Antoon, 71
Loschmidt, Johann, 98

MacLeod, Colin Munro, 223-230
Manson, Patrick, 184-185
Manto (Dünya), 112
Manyetik indüksiyon, 3
Manyetizma, 2
Manyetoelektrik indüksiyon, 14
Marconi, Guglielmo, 18, 23-25
Mather, Cotton, 165
Maxwell, James Clerk, 10, 16, 18-26, 49-52
Maxwell denklemleri, 19
Maya, 142-146
Mayalanma, 140, 142-148
McCarty, Maclyn, 225
McKenzie, Dan, 120
Meister, Joseph, 179
Menard, Henry, 118
Mendel, Johann Gregor, 215
Merkür'ün yalpalaması, 79
Michelson ve Morley'nin deneyi, 67-68
Miescher, Friedrich, 214
Mikroplar, 137-159
Millikan, Robert, 58
Milstein, Cesar, 262-263, 269-275
Miniuydu DNA, 252-253
Miyeloma, 270
Mohorovičić Süreksizliği, 113
Molekül bakışımsızlığı, 144
Monoklonal antikorlar, 259-277
Montagu, Lady Mary Wortley, 163-164
Morgan, Jason, 120
Morötesi ışık, 21

Nathans, Daniel, 234-238
Neopangaea, 125
Newton, Sir Isaac, 50, 64-65, 70, 73
Newton'un hareket yasaları, 64-65, 70, 73
Nükleik asit, 224

Ockham'ın usturası, 132
Oersted, Hans, 6
Oksijen, 127-136
Okyanus ortası sırt sistemi, 118
Olbers paradoksu, 83
Osiloskop, 30

Özel görelilik kuramı, 72-77

Pangaea, 112
Parker, Robert, 120
Pasteur, Louis, 2, 138-160, 168-180
Pastörizasyon, 147
Peebles, James, 89-90

Pekblend, 42
Penisilin, 193-209
Penrose, Roger, 94
Penzias, Arno, 88-90, 92
Phipps, James, 166-167
Planck, Max, 50, 55-56, 60, 61
Planck zamanı, 91
Plazmodya, 183-192
Pnömokoklar, 217-227
Poliklonal antikorlar, 269
Polonyum, 43
Porter, Rodney, 267
Priestley, Joseph, 130-136
Proteinler, 248-249

Radyo dalgaları, 17-26
Radyo iletişim, 20-26
Radyoaktivite, 35-47, 49
Radyokarbonla tarihleme, 35-37
Radyum, 43-45
Redi, Francesco, 148
Rekombinant DNA teknolojisi, 212, 233, 240-243
Ribeau, George, 7
Righi, Augusto, 23
Risin, 275-276
Ritter, Johann, 21
Rømer, Ole, 66
Ross, Ronald, 181-192
Röntgen ışınları (bkz. X ışınları)
Röntgen, Wilhelm, 27-34
Runcorn, Stanley, 117

Scheele, Carl Wilhelm, 130
Schweigger, Johann, 6
Serendipity, 33-34
Serum tedavisi, 264
Sınırlama-değiştirme sistemleri, 235
Sınırlayıcı enzimler, 231-243
Sıtma, 181-192
Sihirli mermiler, 194, 259-277
Sitter, Wilhelm de, 84
Slipher, Vesto, 85
Smalley, Richard, 103-104
Smith, Hamilton O., 234-238
Soda, 131
Spallanzani, Lazzaro, 150
Stafilokok, 197
Stahl, Georg Ernst, 129
Sülfamit, 195
Süpersicimler, 94

Şarbon, 156-157, 172-176
Şibasaburo, Kitasato, 263

T hücreleri, 260
Tavuk kolerası, 169-172
Tekillik, 91, 94
Telefon, 24
Thales, 2
Thomson, Sir John, 51
Torino Kefeni, 35-36
Transformatör, 12-13
Transgenik organizmalar, 243
Tyndall, John, 7

Uranyum, 38-42
Ussher, Başpiskopos, 81
Uzay-zaman, 77, 92

Variolasyon, 163-165
Varro, Markus Terentius, 183
Volta, Alessandro, 5

Washington, George, 136
Watson, James, 216
Wegener, Alfred, 111-116
Wien, Wilhelm, 53
Wilkins, Maurice, 216
Wilson, Robert, 88-91
Wright, Sir Almroth, 196

X ışını kristalografisi, 33
X ışınları, 27-34, 40

Yanardağlar, 110-111, 118, 123-125
Yapay radyoaktivite, 46
Yaşlı Plinius, 183
Yerkabuğu, 112

Zaman genleşmesi, 76
Zayıflatma, aşı, 168-180